

**Aturan uji keberterimaan termal turbin uap
Bagian 3: Uji verifikasi unjuk-kerja termal turbin uap
yang diretrofit**



© BSN 2009

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang menyalin atau menggandakan sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun dan dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi.....	i
Kata Pengantar.....	ii
1 Ruang Lingkup dan Tujuan.....	1
2 Satuan, lambang, istilah dan definisi	2
3 Dasar-dasar pedoman	9
4 Teknik dan instrumen pengukuran	12
5 Evaluasi pengujian.....	14
6 Koreksi hasil uji dan perbandingan dengan garansi	19
Lampiran H	21
Lampiran I.....	27
Lampiran J	53
Lampiran K	64
Lampiran L.....	68



Kata Pengantar

Melakukan retrofit turbin uap dalam pusat pembangkit sering melibatkan perbaikan unjuk kerja. IEC 60953-1 dan IEC 60953-2, yang menetapkan aturan-aturan untuk uji keberterimaan termal turbin uap dari suatu pusat pembangkit yang baru, tidak memberikan semua persyaratan yang spesifik untuk proyek-proyek retrofit. Karena itu, dianggap perlu untuk menyusun sebuah Kode Retrofit (KR) tambahan untuk pedoman uji keberterimaan termal turbin uap yang diretrofit.

Namun, sejumlah besar ketentuan dan rekomendasi dari IEC 60953-1 dan IEC 60953-2 masih dapat diterapkan untuk retrofit dan karena itu, untuk menghindari suatu dokumen yang berisi pengulangan dan banyak, hanya adendum yang bersifat spesifik retrofit akan terdapat dalam KR ini.

Bagian dari IEC 60953 ini harus dibaca bersamaan dengan IEC 60953-2 dan perkataan “uji verifikasi” harus dibaca sebagai “uji keberterimaan”. IEC 60953-2 diambil sebagai sebuah SR. Struktur dan penomoran Klausul standar ini mengikuti IEC 60953-2. SubKlausul yang terdapat dalam standar ini menggantikan seluruh subKlausul yang sama dalam SR. Penomoran subKlausul telah diperluas apabila butir-butir baru telah mencakup penomoran sesuai kronologi. SubKlausul SA yang tidak memerlukan amandemen tidak diulangi.

IEC 60953-2 digunakan untuk acuan sebagai pengganti IEC 60953-1 karena IEC tersebut lebih sesuai dan cocok terhadap retrofit. Meskipun standar ini dimaksudkan berlaku pada retrofit turbin uap kondensasi besar, namun standar ini dapat digunakan untuk tipe dan ukuran turbin yang lain, untuk menentukan dasar-dasar prosedur spesifik yang harus disepakati bersama oleh para pihak yang terkait.

Fakta bahwa IEC 60953-2 telah memberikan preferensi dari pada IEC 60953-1 tidak berarti bahwa telah diambil suatu opsi yang kurang teliti. Aturan yang tercakup ditentukan sedemikian untuk memperoleh ketelitian pengujian yang sesuai untuk proyek retrofit dan tipe garansi yang relevan. Dalam beberapa hal, aturan-aturan yang lebih ketat dari IEC 60953-1 diperlukan untuk memenuhi tujuan ini dan hal ini ditunjukkan dalam standar ini.

Aturan-aturan yang diberikan dalam standar ini mencakup semua perubahan perangkat keras dalam perlengkapan turbin uap. Perubahan pada komponen perangkat keras lain (misalnya boiler, pemanas air pengisi, dsb) tidak dicakup oleh standar ini meskipun perubahan ini mungkin mempengaruhi siklus termodinamik.

Tujuan KR ini adalah untuk mencakup retrofit dari komponen turbin uap yang mempengaruhi efisiensi pusat pembangkit dan bergantung pada garansi unjuk-kerja. Banyak situasi berbeda mungkin ditemukan: misalnya, penggantian katup-katup uap, penggantian bagian dari suatu turbin, dari rotor, dari modul yang lengkap, dsb. Nilai-nilai garansi akan bergantung pada retrofit yang dipertimbangkan dan bergantung pada kesepakatan antara para pihak yang terkait dalam kontrak. Standar ini membantu para pihak menentukan parameter yang paling sesuai yang memberi ciri retrofit dan yang dapat digunakan sebagai nilai-nilai yang digaransi.

Kesulitan utama dalam proyek retrofit adalah pemilihan parameter yang harus digaransi. Pabrikan orisinil umumnya akan menyetujui suatu garansi perbaikan relatif, meskipun demikian penjual lain yang tidak perlu mengetahui semua rincian dari perlengkapan yang terpasang mungkin lebih menginginkan memiliki nilai garansi mutlak untuk perlengkapan yang diretrofit. Standar ini memberikan panduan mengenai parameter yang harus digaransi.

Begitu nilai-nilai garansi ditetapkan, nilai-nilai tersebut mungkin perlu dievaluasi-ulang setelah suatu uji unjuk-kerja pra-retrofit. Standar ini memberikan aturan-aturan yang diperlukan untuk verifikasi nilai-nilai yang digaransi.

Variasi retrofit yang banyak mungkin menyulitkan untuk mencakup semua hal secara menyeluruh tetapi beberapa contoh rinci yang menggambarkan penerapan standar ini diberikan dalam lampiran.

Perbedaan penting dalam Klausul utama antara standar ini dan SA dicantumkan sebagai berikut :

Klausul 1: Ruang lingkup dan tujuan

Secara khusus, standar ini memerlukan definisi opsi-opsi baru mengenai garansi. Adalah mungkin untuk menggaransi parameter yang bersifat tipikal dari perlengkapan yang diretrofit (efisiensi silinder turbin, penurunan tekanan dalam katup, dan sebagainya). SA menetapkan garansi mutlak yang tidak sesuai untuk menspesifikasikan perbaikan antara perlengkapan awal dan yang diretrofit, dan karena itu, nilai-nilai garansi relatif digunakan dalam standar ini.

Standar ini meninjau ulang ketentuan-ketentuan kontraktual, yang dapat berubah dari satu hal ke hal lain, dengan memperhitungkan julat lebar dari retrofit yang layak. Hal ini akan bergantung pada kesepakatan antara para pihak yang terkait pada saat garansi ditentukan, yaitu selama penyusunan kontrak sebelum pelaksanaan uji verifikasi

Klausul 2: Satuan, lambang, istilah dan definisi

Semua satuan, lambang, istilah dan definisi dari SA berlaku untuk KR ini. Namun, KR mencakup konsep dan istilah baru yang berkaitan dengan situasi retrofit, khususnya dalam definisi garansi yang dapat ditawarkan, baik sebagai tambahan maupun pengganti konsep dan istilah baru dari SA tersebut. Sebuah matriks pedoman telah disertakan untuk memungkinkan para pihak yang terkait untuk memilih parameter yang harus digaransi, yang sesuai untuk proyek.

Garansi yang diberikan oleh pabrikan dapat berupa :

a) Garansi nilai-nilai mutlak

- Efisiensi termal atau tara kalor turbin pembangkit;
- Efisiensi termodinamik atau laju uap atau keluaran daya turbin pada kondisi-kondisi aliran uap yang ditetapkan;
- Kapasitas aliran uap utama dan/atau keluaran daya maksimum;
- Efisiensi internal bagian-bagian turbin.

b) Garansi nilai-nilai relatif

- Peningkatan efisiensi termal atau tara kalor turbin;
- Peningkatan efisiensi termodinamik atau laju uap atau keluaran daya;
- Peningkatan kapasitas aliran uap utama dan/atau keluaran daya maksimum;
- Peningkatan efisiensi internal bagian-bagian turbin.

Klausul 3: Dasar-dasar pedoman

Sebagian besar dasar-dasar pedoman yang terdapat dalam SA juga dapat diterapkan pada situasi retrofit. Amandemen atau adendum pada Klausul ini terutama mencakup tindakan yang harus diambil bila pengujian harus dilaksanakan pra dan sesudah retrofit, dan menunjuk acuan yang harus diambil bila suatu garansi mengenai peningkatan unjuk-kerja ditawarkan.

Perhatian khusus ditujukan untuk masalah isolasi siklus, dan deviasi yang diperbolehkan dari kuantitas yang diukur yang sangat mempengaruhi interpretasi hasil.

Klausul 4: Teknik dan instrumen pengukuran

Dalam kasus proyek-proyek retrofit, aturan yang ketat tidak dapat diformulasikan untuk teknik dan instrumen pengukuran. Instrumen harus dipilih sesuai dengan persyaratan instalasi dan nilai garansi yang harus diverifikasi. Pedoman mengenai kepekaan parameter yang digaransi terhadap ketelitian pengukuran individu diberikan dalam Lampiran J, sehingga pemilihan instrumentasi yang paling tepat dapat dilakukan.

Karena aliran merupakan salah satu pengukuran yang sangat penting, standar ini memberikan pedoman mengenai perlunya memasang gawai pengukur-aliran tambahan. Direkomendasikan metode yang memungkinkan pengukuran dan perbandingan serempak dari aliran-aliran primer. Penggunaan metode pengukuran aliran yang menggunakan penelusur sebagai alternatif yang sesuai untuk beberapa aplikasi yang sulit untuk meniadakan *flowmeter* untuk kalibrasi konvensional diberikan dalam Lampiran K

Klausul 5: Evaluasi uji

Standar ini memberikan rincian evaluasi garansi tambahan yang dapat diterapkan pada proyek-proyek retrofit. Aturan-aturan spesifik juga diberikan untuk kebocoran yang tidak diperhitungkan dalam aplikasi retrofit.

Klausul 6: Koreksi hasil uji dan perbandingan terhadap garansi

Metode koreksi yang ditentukan dalam SA juga dapat diterapkan pada standar ini tetapi ditambahkan dengan aturan-aturan spesifik yang berlaku pada tipe garansi yang baru. Untuk pengujian yang tertunda, pedoman diberikan dengan mempertimbangkan penuaan.

Klausul ini juga mencakup validasi dari nilai-nilai unjuk-kerja yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan peningkatan nilai garansi : suatu amandemen pada nilai garansi dapat diterima bila uji pra-retrofit telah menunjukkan bahwa kondisi aktual dari turbin yang diretrofit berbeda dari kondisi yang ditetapkan.

Retrofit turbin uap atau setiap bagiannya, dapat mempengaruhi kesetimbangan peralatan pembangkit (pemanas air-pengisi, kondenser, boiler). Jika retrofit mempengaruhi kondisi melebihi batasan persyaratan peralatan, maka pabrikan dapat diminta untuk menunjukkan akibat dari modifikasi pada bagian perlengkapan yang berdekatan.

Klausul 7: Ketidakpastian pengukuran

Klausul SA ini dilengkapi dengan ketentuan untuk kasus-kasus khusus yang ditemukan dalam proyek retrofit dalam Lampiran I dan J. Karena kasus-kasus ini dapat berbeda-beda, direkomendasikan bahwa perhitungan ketidakpastian dilaksanakan seawal mungkin, lebih dipilih sebelum maju ke tahap retrofit, agar dapat menentukan instrumentasi yang diperlukan untuk pengujian. Contoh-contoh dapat digunakan sebagai dasar acuan.

Lampiran-lampiran

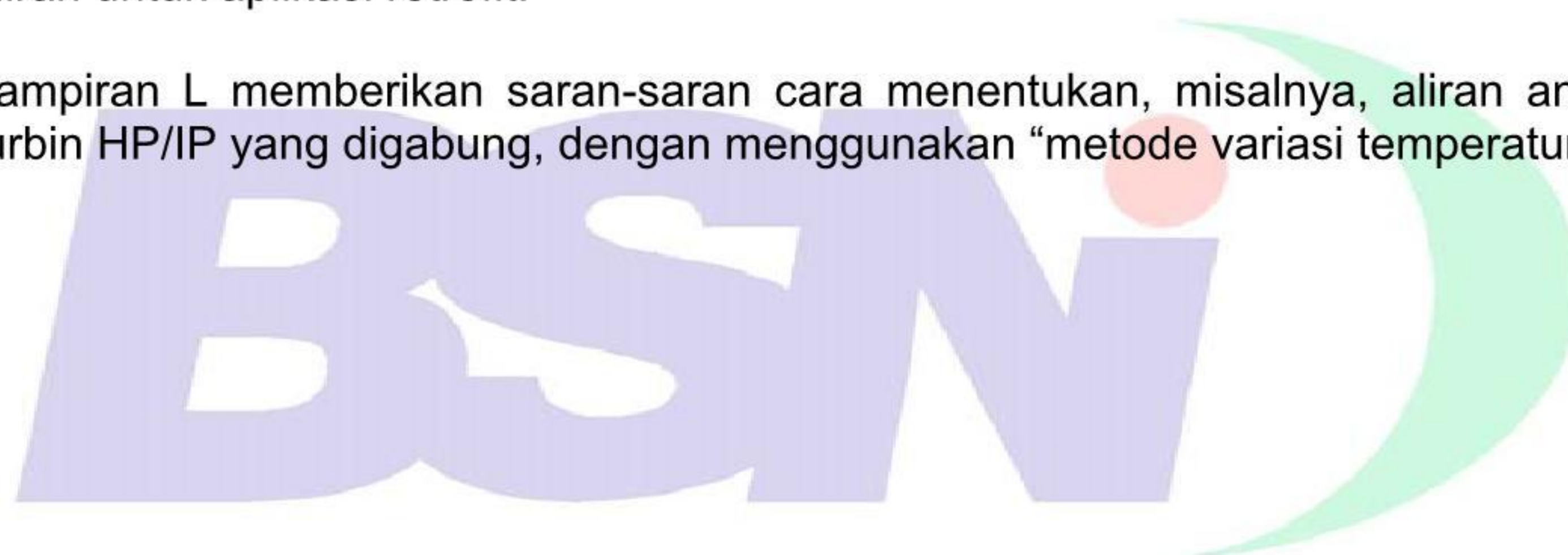
Dalam standar ini, lima Lampiran baru (H sampai L) telah ditambahkan pada tujuh Lampiran yang sudah ada (A sampai G) dari IEC 60953-2.

Lampiran H berkenaan dengan ketidakpastian untuk aplikasi retrofit dan melengkapi informasi yang diberikan dalam Lampiran F dari IEC 60953-2

Lampiran I dan J memberikan contoh-contoh unjuk-kerja dan perhitungan ketidakpastian untuk beberapa aplikasi retrofit, pada pusat pembangkit berbahan bakar fosil dan nuklir.

Lampiran K berkaitan secara spesifik dengan metode teknik penelusur dari pengukuran aliran untuk aplikasi retrofit.

Lampiran L memberikan saran-saran cara menentukan, misalnya, aliran antar-labirin dari turbin HP/IP yang digabung, dengan menggunakan "metode variasi temperatur".





Aturan uji keberterimaan termal turbin uap

Bagian 3: Uji verifikasi unjuk-kerja termal turbin uap yang diretrofit

1 Ruang Lingkup dan Tujuan

1.1 Ruang Lingkup

Standar ini, disebut juga “kode retrofit” (KR), berisi kode retrofit tambahan untuk uji verifikasi termal turbin-turbin uap yang diretrofit.

Aturan-aturan yang diberikan dalam standar ini mengikuti pedoman yang diberikan dalam IEC 60953-2, selanjutnya disebut “Standar Acuan” (SA) tetapi berisi amandemen dan tambahan mengenai garansi dan verifikasi garansi oleh uji keberterimaan termal pada turbin uap yang diretrofit.

Prinsip umum untuk persiapan, unjuk-kerja, evaluasi, perbandingan dengan nilai-nilai yang digaransi dan penentuan ketidakpastian pengukuran dari uji verifikasi diberikan dalam standar ini.

Standar ini dapat diterapkan hanya bila retrofit mencakup beberapa perubahan perangkat keras dalam perlengkapan turbin uap. Sebaliknya, setiap modifikasi pada siklus atau setiap retrofit perlengkapan lain dari pusat pembangkit (misalnya boiler, pemanas air pengisi, dsb) tidak dicakup oleh standar ini.

1.2 Tujuan

Tujuan standar ini adalah menetapkan parameter yang digaransi yang tepat, untuk memverifikasi garansi ini dan menentukan ketidakpastian pengukuran.

Garansi beserta ketentuannya harus diformulasikan secara lengkap dan tanpa kontradiksi (lihat 2.4 dan 2.5 dari IEC 60953-2). Uji verifikasi dapat juga mencakup pengukuran sebagaimana diperlukan untuk koreksi sesuai dengan kondisi garansi dan pemeriksaan hasil-hasil.

1.3 Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam kontrak

Beberapa hal dalam aturan ini harus dipertimbangkan pada tahap awal. Deviasi harus diidentifikasi dan dicapai kesepakatan antara para pihak sebelum penandatanganan kontrak. Hal seperti itu dicantumkan dalam subklausul berikut ;

Klausul (subKlausul)	Paragraf	Catatan
Kata pengantar	5 dan 7	Prosedur spesifik dan nilai garansi
1	2	Definisi garansi
2.5	Semua paragraf	
2.5.1.1	2	
3.1	1 dan 4	
3.2	4	
6.1.1	Paragraf terakhir	
6.8	-	Perbandingan garansi
6.9.1	-	Penurunan unjuk-kerja dari komponen yang diretrofit

1.4 Acuan normatif

Dokumen normatif berikut berisi ketentuan yang, dalam seluruh acuan dalam teks ini, merupakan ketentuan dari bagian standar ini. Untuk acuan-acuan bertanggal, amandemen yang selanjutnya atau revisi dari setiap publikasi ini tidak berlaku. Namun para pihak dalam kesepakatan yang didasarkan pada bagian SNI ini dianjurkan untuk menyelidiki kemungkinan menerapkan edisi yang terbaru dari dokumen-dokumen normatif yang disebutkan di bawah. Untuk acuan-acuan yang tidak disertai waktu tertentu, berlaku edisi terakhir dari dokumen normatif yang dijadikan acuan.

IEC 60953-1, *rules for steam turbine acceptance test, - Part 1: Method A – High accuracy for large condensing steam turbine*

IEC 60953-2, *rules for steam turbine acceptance test, - Part 2: Method B – wide range of accuracy for variuos types and sizes of turbines*

2 Satuan, lambang, istilah dan definisi

2.2.1 Lambang dan satuan

Kuantitas	Lambang	Satuan	Contoh pengali dan pembagi	Satuan ISO Lainnya
Efisiensi (umum)	η	1		
Faktor koreksi kebasahan	WCF	1		
Rugi lepas (ekuivalen isentropik)	LL	J/kg	kJ/kg	
Kapasitas laluan aliran	FPC	m ²		
Katup terbuka penuh	VWO			

2.3.1 Subskrip dan superskrip

Kuantitas	Subskrip	Posisi atau definisi
Efisiensi	cyl cyl-dry cyl-wet cyl-HP cyl-IP cyl-LP	Efisiensi isentropik silinder keseluruhan (2.4.8.1, 2.4.8.2) Efisiensi silinder keseluruhan dengan dasar kering (2.4.8.2) Efisiensi silinder keseluruhan dengan dasar basah (I.1.1) Efisiensi silinder HP (I.1.1) Efisiensi silinder IP (I.1.1) Efisiensi silinder LP (I.1.1)
Entalpi	UEEP ELEP	Titik-akhir energi berguna (2.4.8.2) Titik-akhir saluran ekspansi (I.1.1)
Penurunan entalpi	s 's	Isentropik dari sisi masuk silinder ke sisi keluar Mengacu pada bagian dari ekspansi dalam daerah basah (I.1.1)
Unjuk-kerja komponen	tp in out	Kondisi uap pada titik terminal (2.4.8.3) Kondisi uap pada sisi masuk ke komponen (2.4.8.3) Kondisi uap pada sisi keluar dari komponen (2.4.8.3)
Laju aliran massa ¹⁾	loss make-up	Kesetimbangan aliran massa (5.2.5) Kesetimbangan aliran massa (5.2.5)
¹⁾ beberapa subskrip laju aliran massa dan entalpi ditentukan dalam teks itu sendiri (misalnya 5.2.5.1).		

2.3.2 Definisi

Untuk tujuan standar ini berlaku definisi yang diberikan dalam IEC 60953-2 dan definisi-definisi berikut.

2.3.2.1 Retrofit turbin

Perubahan perangkat-keras turbin untuk memperbaiki unjuk-kerja termal

2.3.2.2 Kode retrofit (KR)

Kode yang terdapat dalam standar ini, untuk “uji verifikasi unjuk-kerja termal dari turbin uap yang diretrofit”

2.3.2.3

standar acuan (SA)

IEC 60953-2

2.3.2.4

garansi mutlak

Garansi mengenai perlengkapan yang diretrofit, tidak tergantung pada unjuk-kerja perlengkapan orisinil

2.3.2.5

garansi relatif

Garansi mengenai perbaikan yang disebabkan oleh perlengkapan yang diretrofit

2.3.2.6

uji dasar

Uji lengkap yang dilaksanakan sebelum menerbitkan spesifikasi retrofit, untuk menentukan tara kalor acuan dari pusat pembangkit

Catatan: Uji dasar tidak tercakup oleh standar ini

2.3.2.7

uji pra-retrofit

Uji yang dilakukan sebelum pekerjaan retrofit untuk menentukan nilai-nilai acuan untuk garansi relatif

2.3.2.8

uji pasca- retrofit

Uji yang dikaitkan dengan uji pra-retrofit untuk memverifikasi nilai-nilai yang digaransi relatif. Uji pasca-retrofit menggunakan instrumentasi yang sama seperti pada uji pra-retrofit

2.3.2.9

uji keberterimaan termal

Uji lengkap yang dilaksanakan sesuai dengan Standar Nasional atau Internasional untuk menentukan garansi unjuk-kerja menyeluruh mutlak dari pembangkit yang baru

CATATAN: Uji ini tidak tercakup oleh standar ini.

2.3.2.10

uji pasca-retrofit mutlak

Uji pasca retrofit untuk memverifikasi garansi mutlak per komponen atau menyeluruh.

2.3.2.11**uji verifikasi**

Semua tipe uji yang dimaksudkan untuk memverifikasi unjuk-kerja dari perlengkapan yang diretrofit. Uji-uji tersebut harus berupa baik uji pra-retrofit dan pasca-retrofit. Uji pasca-retrofit mutlak ataupun uji keberterimaan termal lengkap.

2.3.2.12**kelonggaran uji**

Kelonggaran kontrak yang disepakati mengenai nilai-nilai unjuk-kerja yang diukur dan dikoreksi untuk memperbolehkan ketidakpastian uji, penuaan dan kondisi-kondisi lain mungkin bersifat spesifik pada suatu proyek retrofit tertentu.

2.3.2.13**daya termal**

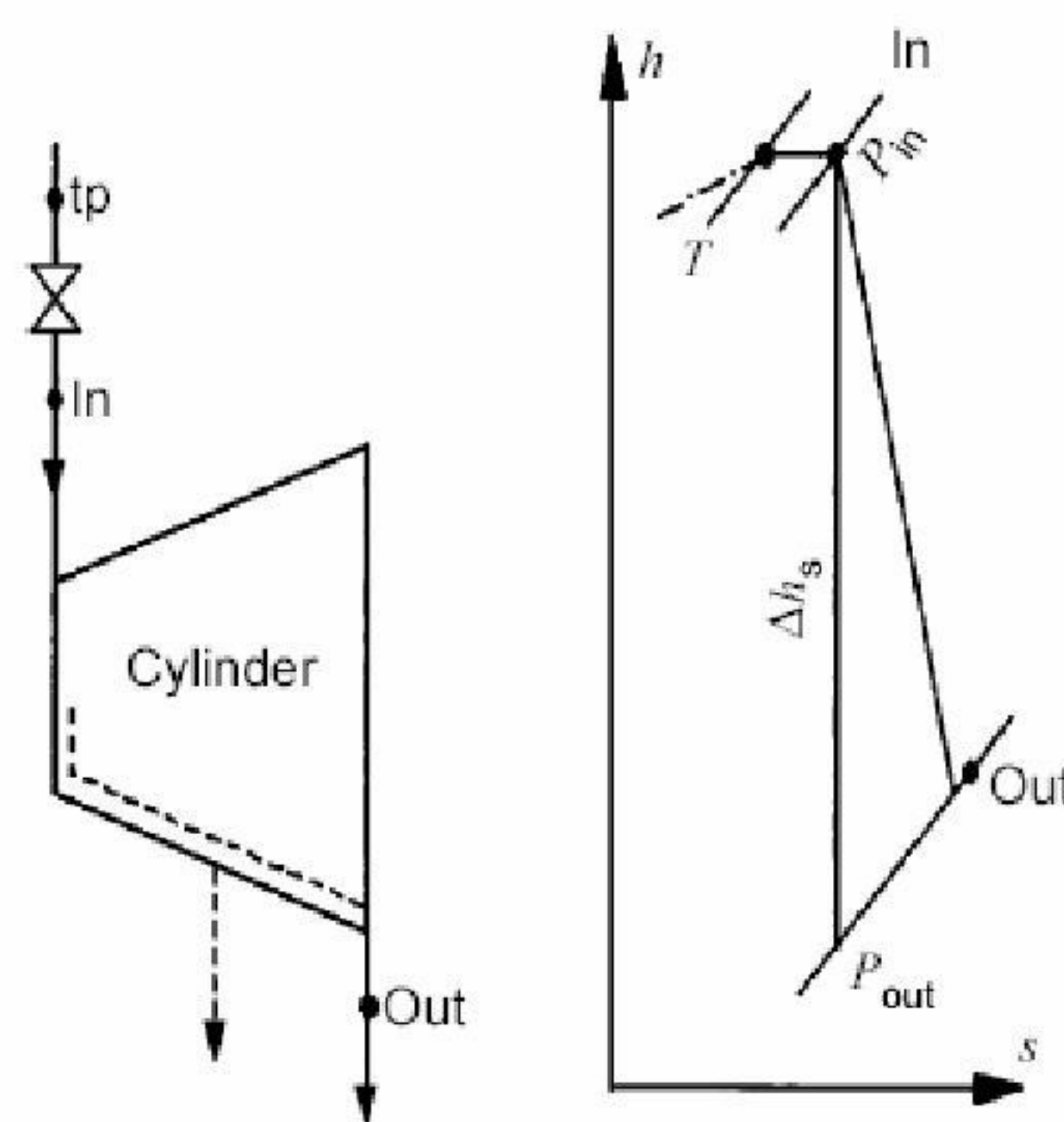
Pasokan kalor dari sumber-sumber luar ke dalam siklus.

2.4.8 Efisiensi komponen

Standar ini mengidentifikasikan komponen spesifik yang cenderung akan diretrofit daripada mesin secara keseluruhan. Karena itu, nilai-nilai garansi yang relevan dengan modifikasi turbin tertentu, seperti efisiensi silinder dan rugi tekanan komponen, kadang-kadang lebih sesuai. Definisi tipikal dari unjuk-kerja komponen diberikan di bawah dan contoh-contoh ditampilkan dalam lampiran I.1

2.4.8.1 Efisiensi isentropik silinder-ekspansi dalam daerah yang dipanas-lanjutkan

Efisiensi isentropik silinder memberikan, sebagai acuan, suatu indikasi yang dapat diukur dari efisiensi keseluruhan ekspansi uap dari segi penurunan entalpi aktual dibandingkan dengan penurunan entropi ideal. Bila uap dipanas-lanjutkan pada sisi-masuk dan sisi-keluar, entalpi yang berkaitan dapat diturunkan secara langsung dari pengukuran tekanan dan temperatur (lihat Gambar 1).



Gambar 1 Efisiensi isentropik dari silinder HP

Efisiensi isentropik silinder :
$$\eta_{cyl} = \frac{h_{in} - h_{out}}{\Delta h_s}$$

Kondisi pada sisi masuk "in" lebih dipilih setelah katup masuk untuk membedakan antara rugi tekanan katup (lihat 2.4.8.3) dan efisiensi silinder. Kondisi pada sisi keluar "out" biasanya mencakup bocoran 'balance-piston' yang dikembalikan dan dicampur, yang pengukurannya dilakukan sebelum uap panas-ulang dingin curah dialirkan kembali ke boiler.

Perhatian khusus harus dilakukan atas pengukuran tekanan pada sisi hilir dari katup-katup masuk. Lebih dipilih, tekanan harus diukur dalam saluran inter-koneksi antara katup-katup dan badan turbin, atau, jika turbin mempunyai sebuah spiral. Pengukuran tekanan dalam badan katup harus dihindarkan. Dalam hal pengukuran tekanan setelah katup tidak memungkinkan, garansi harus mulai dari sebelum katup sampai ke sisi-keluar turbin dan penurunan tekanan yang disepakati dipakai melalui katup.

Komplikasi kecil lain seperti injeksi uap-pendingin dan bocoran perapat antar-silinder, meskipun biasanya tidak, berdasarkan kesepakatan dapat dimasukkan dengan modifikasi yang sesuai dari formula efisiensi.

2.4.8.2 Efisiensi isentropik silinder-ekspansi yang melibatkan daerah basah

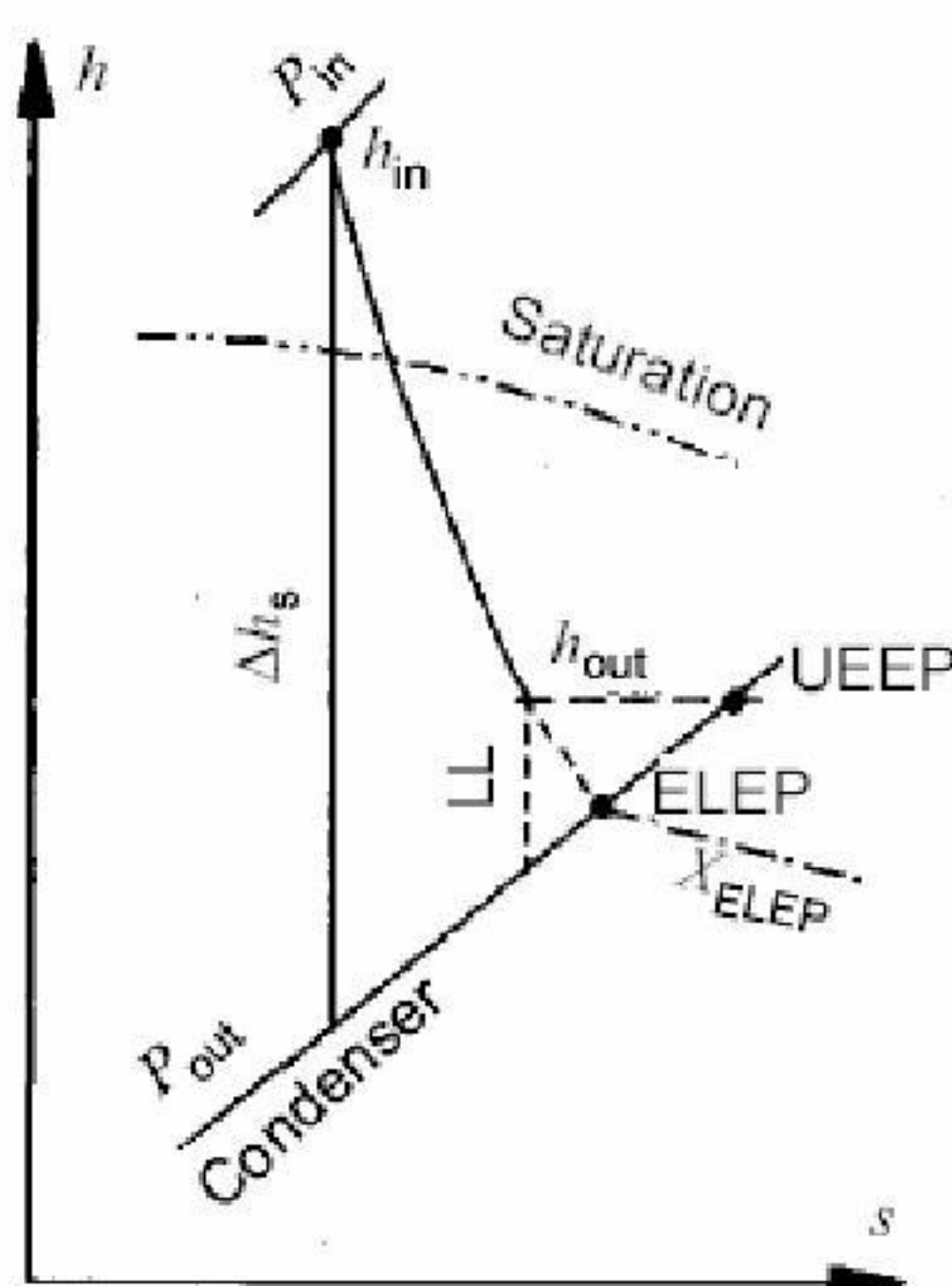
Untuk silinder yang beroperasi dalam daerah basah, penentuan entalpi menghasilkan kesulitan utama dan harus diterapkan teknik khusus seperti penelusur. Efisiensi isentropik silinder, η_{cyl} ditentukan seperti diatas tetapi dengan memasukkan efek kebasahan implisit.

Efisiensi dengan dasar kering, yang menunjukkan kualitas aerodinamik dari lintasan sudu, untuk tujuan informasi dapat dinyatakan dengan :

$$\eta_{cyl-dry} = \eta_{cyl} / \left\{ (x_{in} + x_{out}) / 2 \right\}$$

Sebagaimana biasa, pernyataan ini mengasumsikan bahwa efek uap lembab (hanya untuk contoh). Kasus dengan kondisi sisi-masuk kering dan kondisi sisi-keluar basah dicantumkan dalam I.1.1.

Untuk silinder LP, dalam hal rugi lepas LL (yang terutama merupakan energi kinetik) merupakan kuantitas yang signifikan dan jika ekspansi uap internal sebagian berada dalam daerah basah, sejumlah definisi dapat digunakan (lihat Klausul I.1 dan catatan kakinya). Namun, efisiensi total keseluruhan, yang dapat disimpulkan dari kesetimbangan daya, diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2 Garis ekspansi turbin LP

Efisiensi isentropik silinder adalah $\eta_{cyl} = \frac{h_{in} - h_{out}}{\Delta h_s}$

dengan ' h_{out} ' disebut Titik Akhir Energi Bermanfaat (TAEB), *Useful Energy End Point (UEEP)*. Titik ini berada dalam daerah basah dan, karena itu, biasanya diperoleh dari kalkulasi kesetimbangan daya siklus keseluruhan. Hasil-hasil perhitungan ini harus diperlakukan dengan hati-hati, karena setiap ketidakefisienan yang tidak ditemukan dalam setiap bagian siklus uji dapat mengarah ke suatu nilai efisiensi LP yang sangat rendah.

Garis-garis ekspansi LP percobaan yang menurun ke nilai-nilai ' h_{out} ' yang berulang digunakan dalam kalkulasi sampai:

daya internal silinder $\Sigma(TT + TM + TR)$ – rugi-rugi eksternal (mekanikal, listrik dan sebagainya) = keluaran generator.

Sejumlah definisi lain yang berguna yang berkaitan terutama dengan turbin LP, termasuk kebasahan dan rugi lepas, diberikan dalam Klausul I.1 dan dalam 5.2.5.1.

2.4.8.3 Rugi tekanan dalam katup dan pipa

Rugi-rugi tekanan dan komponen penyaluran mempunyai efek yang signifikan terhadap unjuk-kerja turbin keseluruhan. Rugi-rugi harus dinyatakan untuk komponen dalam posisi terbuka penuh dan diberikan sebagai suatu penurunan persentase dibandingkan dengan tekanan sisi-masuk. Sebuah contoh tipikal adalah melakukan retrofit pada sistem katup dan pipa-pipa sebelum silinder HP, diperlihatkan dalam 2.4.8.1, dengan tekanan turun dari P_{tp} , ke P_{in} , pada titik terminal sebelum katup, pada titik pengukuran dalam pipa-pipa sisi-masuk silinder, sedemikian rupa:

$$\text{Persentasi penurunan tekanan} = \frac{P_{tp} - P_{in}}{P_{tp}} \times \frac{100}{1}$$

2.4.8.4 Kapasitas Laluan Aliran (FPC - Flow Passing Capacity)¹⁾

Kenaikan keluaran yang dihasilkan dari perbaikan efisiensi silinder biasanya berkaitan dengan kapasitas laluan aliran yang tidak berubah (yaitu konstan).

FPC dapat ditentukan sebagai :

$$FPC = \frac{\dot{m}_{in}}{\sqrt{P_{in} / v_{in}}} \frac{1}{\sqrt{1 - (P_{out} / P_{in})^2}}$$

Jika dengan cara lain, FPC diubah (atau dalam penambahan), maka efek terhadap keluaran listrik keseluruhan harus diperhitungkan dengan kalkulasi kesetimbangan kalor. Untuk ekspansi di luar rasio tekanan yang dicekik, pernyataan di atas menjadi sederhana:

$$FPC = \frac{\dot{m}_{in}}{\sqrt{P_{in} / v_{in}}}$$

1) Disebut Juga "Swallowing capacity"

Metode-metode lain untuk menghitung FPC dapat digunakan dengan kesepakatan. Jika FPC tidak sebagaimana dimaksud maka koreksi untuk deviasi tidak diperbolehkan.

2.5 Pedoman mengenai garansi

Umumnya, angka-angka yang sesuai digunakan untuk garansi ditentukan oleh kemampuan memverifikasi secara teliti unjuk-kerja aktual atau perubahan unjuk-kerja.

Melakukan retrofit sebuah pembangkit turbin uap biasanya melibatkan modernisasi, sekurang-kurangnya, satu komponen atau silinder dalam sebuah mesin lengkap; karena itu adalah penting untuk membedakan antara pengaruh komponen dan unjuk-kerja keseluruhan. Sebagai tambahan, melakukan retrofit atas mesin yang ada dapat dilakukan baik oleh pabrikan perlengkapan orisinilnya (PPO) ataupun oleh pabrikan lain. Semua pabrikan perlengkapan retrofit harus mempunyai pengetahuan tentang efisiensi mutlak dari komponen yang baru tetapi tidak diasumsikan bahwa pabrikan-pabrikan tersebut akan mengetahui unjuk-kerja dari komponen yang diganti atau keadaan dari instalasi yang terkait. Hanya PPO yang dapat diharapkan mengetahui tentang perlengkapan yang ada dan mempunyai keyakinan dalam garansi sebagai suatu perbaikan dalam unjuk-kerja. Karena itu muncul masalah apakah memberikan garansi unjuk-kerja mutlak ataukah relatif.

Karena pihak pembeli pusat pembangkit mungkin juga menyetujui garansi dari unjuk-kerja pembangkit keseluruhan, sedangkan pabrikan memilih menggaransi komponen individualnya, Tabel 1 memberikan pedoman tentang garansi keseluruhan dan komponen baik untuk situasi mutlak ataupun relatif.

Tabel 1 Alternatif garansi

Bagian dari turbin	Ekspansi kering		Ekspansi basah	
	Mutlak	Relatif	Mutlak	Relatif
Komponen ($\eta_{ncl, \Delta P}$)	2.5.1.1 (Direkomendasikan)	2.5.2.1 (Direkomendasikan)	2.5.1.1 (Dihindari)	2.5.2.1 (Dihindari)
	2.5.1.2 ¹⁾ (Opsional)	2.5.2.1 ¹⁾ (Opsional)	2.5.1.2 ¹⁾ (Dihindari)	2.5.2.1 ¹⁾ (Direkomendasikan)
Keseluruhan (tara kalor atau keluaran)		2.5.2.2 ²⁾ (Dihindari)	(Kecuali jika lintasan uap penuh untuk seluruh turbin diganti – maka Dihindari” menjadi “Direkomendasikan”	2.5.2.2 ³⁾ (Opsional)
¹⁾ Tergantung pada keberterimaan dari unjuk-kerja keseluruhan pra-retrofit (harus diperiksa)				
²⁾ Kurang teliti dari pada 2.5.2.1 (Opsional)				
³⁾ Kurang teliti dari pada 2.5.2.1 (Direkomendasikan)				
CATATAN Sub-ayat yang ditunjukkan dalam tabel ini mengacu pada teks berikut				

Verifikasi garansi terhadap kapasitas laluan-aliran (FPC) bergantung pada pengukuran aliran yang teliti pada seluruh siklus dan, karena itu memerlukan uji mutlak.

Pertimbangan tentang unjuk-kerja komponen atau keseluruhan dan mutlak atau relatif harus dikemukakan dalam spesifikasi penyelidikan dan kesepakatan harus dicapai antara para pihak dalam kontrak.

2.5.1 Garansi mutlak

KR ini menetapkan dua tipe garansi mutlak dan verifikasi.

2.5.1.1 Pengukuran langsung unjuk-kerja mutlak dari komponen yang diganti

Jika unjuk-kerja dapat diukur secara langsung seperti halnya pada silinder yang beroperasi seluruhnya dalam daerah uap panas-lanjut dengan efisiensi isentropik silinder dapat ditentukan oleh uji penurunan entalpi, maka efisiensi mutlak silinder adalah sebuah angka yang sesuai untuk garansi.

Pengaruh dari komponen yang diganti terhadap unjuk-kerja pembangkit keseluruhan dapat kemudian dievaluasi, untuk tujuan informasi, dengan perhitungan dan hal itu harus disepakati dalam kontrak. Perhatian khusus harus dilakukan jika komponen mempengaruhi siklus termodinamik dari pembangkit. Hal-hal ini mencakup tekanan ekstraksi yang berbeda, kondisi yang bervariasi pada pemanas-ulang dan kapasitas pengaliran yang berubah.

Ada beberapa kasus dengan efisiensi komponen yang diganti harus ditentukan secara tidak langsung dari unjuk-kerja pembangkit keseluruhan (misalnya silinder yang beroperasi sebagian dalam daerah basah dengan entalpi tidak dapat ditentukan), dengan akibat rugi ketelitian yang tidak dapat diterima. Dalam kasus seperti ini, garansi direkomendasikan berdasarkan perbaikan pembangkit keseluruhan (lihat.5.2).

2.5.1.2 Tara kalor mutlak setelah modifikasi

Dalam hal ini uji keberterimaan termal direkomendasikan setelah modifikasi, sesuai dengan IEC 60953-1. Dalam keadaan yang sesuai untuk turbin uap kecil, IEC 60953-2 juga dapat digunakan. Uji sebelumnya tidak dilakukan, tetapi data desain atau uji garansi terdahulu digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai garansi termasuk ketentuan untuk koreksi yang berhubungan dengan variasi siklus atau unjuk-kerja komponen lain pada pengujian, sebagaimana diperlukan. Perhatian besar diperlukan atas kondisi pembangkit yang sudah lama yang mungkin menutupi defisiensi siklus keseluruhan dan mengarah, misalnya, pada pengurangan tingkat rendah efisiensi silinder LP secara keliru. Sebuah uji dasar baru pada pembangkit yang lengkap pra retrofit dapat memberi penjelasan mengenai hal ini.

Alternatif ini dapat diikuti dalam hal modifikasi adalah luas dan pembangkit perlu mendapat pemeriksaan menyeluruh. Kontraktor mengambil resiko yang lebih besar dalam hal ini dan harus puas bahwa dasarnya adalah logis.

2.5.2 Uji relatif perbaikan unjuk-kerja

Kode ini memberikan dua tipe garansi relatif, terutama yang relevan dengan kasus-kasus retrofit.

2.5.2.1 Uji perbaikan dengan mengambil keuntungan dari instrumentasi yang sama

Nilai bagi pembeli yang melakukan suatu modernisasi unjuk-kerja direfleksikan secara langsung dalam perbaikan aktual yang dicapai (dari pada dalam suatu tingkat mutlak). Karena itu verifikasi dari perbaikan yang digaransi dapat didasarkan pada uji pra-retrofit dan pasca-retrofit, bersama-sama dalam penggunaan yang mudah dari instrumen pengukuran yang sama yang dipakai pada umumnya sesuai dengan standar. Hal ini berlaku untuk keduanya, perbaikan komponen dan tara kalor keseluruhan.

Angka yang digaransi dari perbaikan didasarkan pada pengetahuan yang logis dari pembangkit yang ada. Garansi yang diberikan dengan berdasarkan unjuk-kerja nominal dari pembangkit yang ada (misalnya diagram tara kalor semula atau uji unjuk-kerja semula) harus mengikuti konfirmasi dan amendemen sebagaimana diperlukan, tergantung pada hasil-hasil analisis dari uji pra- retrofit.

Melakukan uji komponen yang diganti pada keseluruhan pembangkit, bagian lainnya dari pembangkit idealnya harus tetap dalam kondisi yang sama, dari periode uji pra-retrofit sampai pasca-retrofit. Pengujian, jika dilakukan secara sederhana dan tanpa kelambatan, mempunyai keuntungan karena biayanya lebih murah, sedangkan ketidakpastian dalam hasil perbaikan akan berkurang karena penggunaan instrumen yang sama. Namun kualitas instrumenasi harus dipilih secara teliti agar sesuai dengan demonstrasi yang jelas dari tingkat perbaikan yang diharapkan.

Kondisi operasi pembangkit, misalnya daya termal, VWO atau keluaran generator, sebelumnya dan sesudahnya, perlu sama agar mengurangi koreksi siklus. Misalnya, perhatikan suatu retrofit LP dari sebuah satuan nuklir, dengan mempertahankan daya reaktor termal dan penyetelan katup konstan untuk kedua uji pra-retrofit dan pasca-retrofit akan menyederhanakan prosedur koreksi dan biasanya memperbolehkan daya generator sebagai ukuran perbaikan tara kalor.

2.5.2.2 Perbaikan yang ditentukan dari uji lengkap sebelum dan sesudah modifikasi

Sebagai tambahan atas verifikasi perbaikan unjuk-kerja, kadang-kadang pembeli pembangkit perlu untuk menentukan unjuk-kerja mutlak dari unit yang dimodernisasi. Hal ini dapat dicapai dengan kombinasi uji pra-retrofit kode-lengkap dengan uji pasca-retrofit kode-lengkap. Ini adalah metode yang paling lengkap dan operator dapat memperoleh manfaat dari pengetahuan rinci yang dihasilkan dari unjuk-kerja pembangkit. Namun mungkin ada suatu kelemahan. Jika verifikasi uji lengkap tertunda sangat lama, hal ini memerlukan penggantian instrumentasi dengan konsekuensi kehilangan ketelitian. Biaya dan waktu untuk melaksanakan uji mungkin juga menjadi penghambat dalam beberapa kasus, terutama jika diperlukan ketelitian tinggi untuk menentukan suatu perubahan tergaransi yang kecil.

3 Dasar-dasar pedoman

3.1 Rencana lanjutan untuk pengujian

Para pihak untuk uji verifikasi dari proyek retrofit berdasarkan standar ini harus mencapai kesepakatan mengenai prosedur pengujian, interpretasi garansi, jumlah, lokasi dan susunan titik pengukuran dan gawai, katup dan susunan pemipaan demikian juga ketelitian pengukuran dengan memberikan pertimbangan yang layak terhadap biaya uji verifikasi.

Dalam merencanakan uji retrofit, harus diberikan penekanan pada kondisi pembangkit lama yg kemungkinan buruk, khususnya berkaitan dengan kebocoran yang dapat membesar setiap waktu. Persiapan diperlukan untuk memperhitungkan hal ini.

Instrumentasi harus diseleksi sedemikian rupa sehingga unjuk-kerja komponen, dapat diverifikasi, sebagaimana ditentukan dalam kontrak.

Pertimbangan harus diberikan terhadap kemungkinan dibutuhkan tambahan titik cerat instrumen, melebihi dan diatas yang dipasok dalam kontrak konstruksi orisinilnya. Karena sifat retrofit pembangkit dapat dibatasi terhadap komponen tunggal siklus pembangkit daya, tambahan titik pengukuran diperlukan untuk menilai unjuk-kerja komponen. Dengan cara lain, koreksi terhadap unjuk-kerja pembangkit keseluruhan mungkin diperlukan untuk perubahan pada bagian lain dari pembangkit yang mempunyai pengaruh terhadap unjuk-kerja dari komponen retrofit tetapi tidak dicantumkan dalam kontrak retrofit (lihat butir 1.2). Namun demikian, perubahan pada proses yang berkaitan langsung dengan pertukaran alat tidak perlu dikoreksi.

Berikut ini adalah daftar item tipikal yang harus disepakati sedini mungkin agar dapat memberikan kesempatan maksimum untuk melakukan perubahan setiap instrumen atau pembangkit yang mungkin diperlukan :

Item a) sampai g) dari 3.1 dan a) sampai j) dari 3.2 berlaku standar acuan (SA)

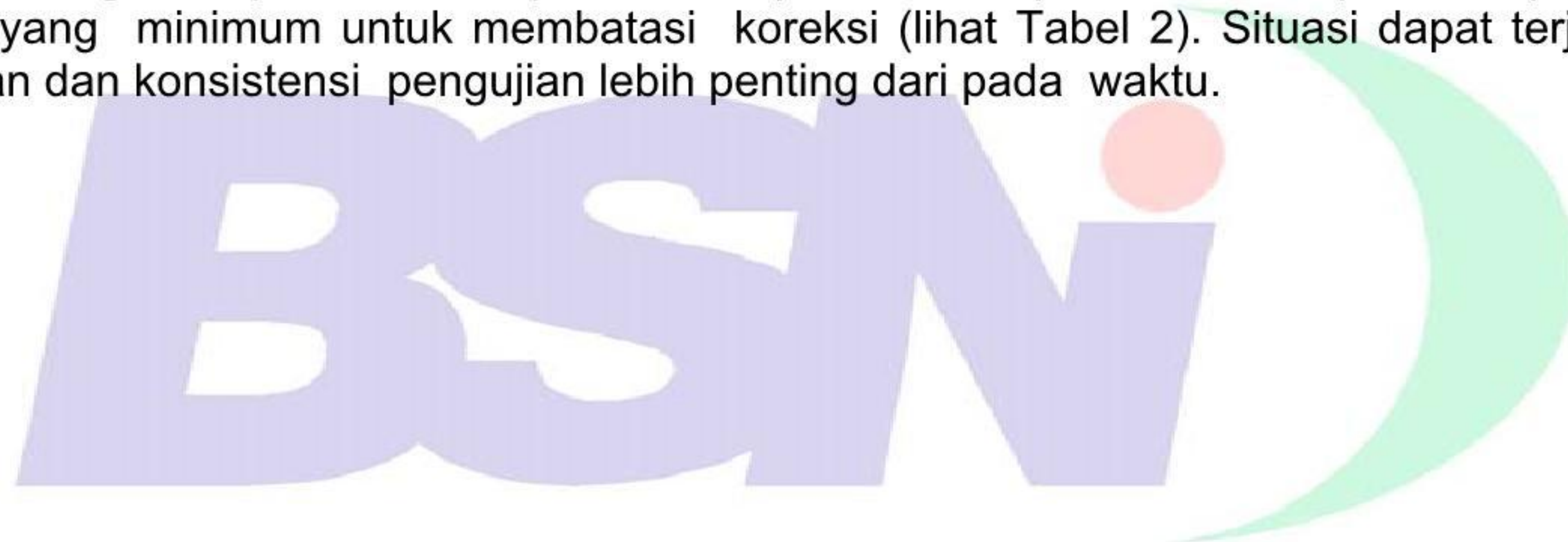
Perhatian khusus harus diberikan terhadap persyaratan kalibrasi instrumen.

3.3.1 Waktu untuk uji verifikasi

Bila uji verifikasi dibatasi pada uji pasca retrofit, hal ini harus dilakukan sesegera mungkin setelah sinkronisasi pertama dari unit dan lebih baik dilakukan dalam jangka waktu delapan minggu.

Bila verifikasi unjuk-kerja didasarkan pada pengukuran komperatif pra dan pasca retrofit, uji pra retrofit akan dikehendaki selambat mungkin sebelum gangguan retrofit, tetapi tidak lebih cepat dari delapan minggu. Uji pasca retrofit harus dilakukan sesegera mungkin setelah sinkronisasi pertama dari unit yang diretrofit dan lebih baik dilakukan dalam delapan minggu.

Juga penting mempertahankan perubahan parameter operasi antara pra dan pasca uji retrofit yang minimum untuk membatasi koreksi (lihat Tabel 2). Situasi dapat terjadi bila ketelitian dan konsistensi pengujian lebih penting dari pada waktu.



Tabel 2 - Deviasi dan fluktuasi maksimum ¹⁾ yang diperbolehkan pada kondisi operasi dari acuan yang ditetapkan dan relatif

Variabel	A Deviasi maksimum uji rata-rata yang diperbolehkan dari acuan yang ditetapkan	B ⁶⁾ Deviasi maksimum pasca uji rata-rata yang diperbolehkan dari pra uji retrofit
Tekanan uap awal	$\pm 5 \%$ ²⁾	$\pm 2,5 \%$ ²⁾
Temperatur uap awal	$\pm 15 \text{ K}$ ²⁾	$\pm 7,5 \text{ K}$ ²⁾
Fraksi kekeringan	$\pm 0,005 \%$	$\pm 0,0025 \%$
Tekanan ekstraksi (diatur)	$\pm 5 \%$ ²⁾	$\pm 2,5 \%$ ²⁾
Tekanan pembuangan		
- untuk turbin dengan pemanasan ulang air pengisi	lihat ⁴⁾	lihat ⁴⁾
- untuk turbin tekanan balik	$\pm 5 \%$ ²⁾	$\pm 2,5 \%$ ²⁾
- untuk turbin kondensasi	$\pm 10 \%$ ^{5) 7)}	$\pm 5 \%$ ^{5) 7)} atau 0,3 kPa
Laju aliran ekstraksi	$\pm 10 \%$	$\pm 5 \%$
Temperatur pemanasan ulang	$\pm 15 \text{ K}$	$\pm 7,5 \text{ K}$
Penurunan entalpi isentropis	$\pm 7 \%$	$\pm 3,5 \%$
Aliran uap awal	$\pm 5 \%$	$\pm 2,5 \%$
Aliran air pendingin	$\pm 15 \%$	$\pm 7,5 \%$
Temperatur masuk air pendingin	$\pm 5 \text{ K}$ ⁸⁾	$\pm 2,0 \text{ K}$ ⁸⁾
Temperatur air pengisi akhir	$\pm 10 \text{ K}$	$\pm 5 \text{ K}$
Kecepatan putar	$\pm 2 \%$ ³⁾	$\pm 2 \%$ ³⁾

1) Fluktuasi maksimum dari variabel yang diperbolehkan selama masing-masing uji seharusnya tidak lebih besar dari setengah deviasi yang diperbolehkan pada Tabel 2, kolom A kecuali untuk keluaran yang dapat bervariasi sebesar $\pm 3 \%$.

2) Semua item ini tidak boleh menyebabkan deviasi penurunan entalpi lebih dari $\pm 7 \%$

3) Bila diizinkan oleh garansi teknikal turbin

4) Deviasi kecil yang masuk akal pada tekanan ekstraksi apabila dibandingkan dengan nilai desain. biasanya mempunyai efek yang dapat diabaikan terhadap unjuk-kerja keseluruhan. Apabila deviasi besar yang tidak proporsional pada aliran uap ekstraksi menyebabkan gagal fungsi pemanas, efeknya terhadap unjuk-kerja keseluruhan menjadi serius, dan kesepakatan yang dicapai pada masalah tersebut harus diikuti.

5) Bila uji tekanan buang menyimpang diluar batas yang diizinkan, maka koreksi tekanan buang harus diperoleh dari pengujian atau perhitungan atas kesepakatan para pihak.

6) Kolom B menggambarkan deviasi maksimum untuk variabel yang harus konsisten antara uji pra dan pasca retrofit. Kolom A berlaku untuk kondisi uji pasca retrofit, yang diharapkan berubah sebagai hasil overhaul pambangkit

7) Bila kondenser tidak termasuk dalam garansi

8) Bila kondenser termasuk dalam garansi

Satu contoh adalah keluaran daya pembangkit listrik tenaga nuklir yang sensitif terhadap tekanan buang yang bervariasi. Di negara dengan kondisi air pendingin yang bervariasi menurut musim, hasil yang lebih akurat dapat dicapai dengan mempertahankan deviasi tekanan buang yang lebih kecil daripada mengejar selang waktu pendek antara uji pra dan pasca retrofit.

3.4.4.4 Isolasi siklus

Sehubungan dengan kondisi katup yang umumnya buruk, khususnya pada pembangkit yang telah tua, harus diusahakan untuk memeriksa bocoran pada periode waktu yang sesuai sebelum pengujian. Perhatian khusus harus ditujukan pada jalur-pintas gawai aliran primer, jalur-pintas pengasutan, penguras pemanas, penguras uap primer dan sebagainya, serta setiap pemasok uap bantu ke dalam atau ke luar siklus.

Jika terjadi masalah isolasi yang tidak terselesaikan pada uji pra retrofit, yang mengubah siklus garansi, maka pengujian dapat dilakukan berdasarkan kesepakatan para pihak, dengan memastikan bahwa isolasi yang sama berlaku untuk uji verifikasi. Koreksi tambahan mungkin perlu digunakan pada evaluasi unjuk-kerja dengan memperhitungkan efek perubahan siklus dari yang digaransi. Bila memungkinkan, koreksi yang sesuai harus diidentifikasi dan disepakati sebelum uji pasca retrofit.

3.6.1.1 Pembangkit berbahan bakar fosil

Bila memungkinkan, untuk menjamin kondisi yang konsisten antara uji pra dan pasca retrofit, pengujian harus dilakukan dengan kondisi katup terbuka penuh, atau pada suatu posisi katup pada mesin yang diatur oleh nosel. Pengujian pada kondisi spesifik lain dapat dilakukan atas kesepakatan bersama.

3.6.1.2 Pembangkit tenaga nuklir

Bila daya termal dari pembangkit uap terbatas, sebagai contoh pada instalasi nuklir, lebih baik melakukan uji pra dan pasca retrofit pada daya termal yang konstan. Dengan cara ini, peningkatan netto dalam unjuk-kerja siklus akan ditunjukkan oleh perubahan pada keluaran yang dibangkitkan.

4 Teknik dan instrumen pengukuran

4.1.6 Konsistensi pra dan pasca uji retrofit

Bila garansi dibuat berdasarkan unjuk-kerja relatif dengan verifikasi didemonstrasikan pada dasar dari uji pra dan pasca retrofit dilakukan tanpa keterlambatan, maka kemampuan masing-masing seri uji penting dan ketelitian instrumentasi paling baik menjadi kurang penting. Hal yang paling mendasar dari prosedur seperti itu, memerlukan replika instrumentasi dan sistem akuisisi data pada masing-masing seri uji sehingga kesalahan sistematis dapat dihilangkan. Dengan demikian diperlukan sebanyak mungkin instrumen yang tetap terpasang untuk mengurangi kesalahan relatif. Hal ini terutama berlaku pada gawai pengukur aliran primer. Hal ini harus disepakati bersama, bila mempengaruhi kalibrasi, (sebelum dan/atau setelah pengujian). Untuk pengujian relatif, kalibrasi pengukuran aliran primer biasanya tidak dipertimbangkan.

Konsistensi dapat juga dicapai dengan menggunakan duplikasi instrumen primer yang memadai untuk mencakup kesalahan instrumen. Pengaruh suatu kesalahan pada sekelompok instrumen duplikasi harus dipertimbangkan dengan menghitung rata-rata yang dibobotkan, didasarkan pada sebaran yang diamati dalam data uji pra retrofit. Kemungkinan lain, bila instrumen baru digunakan untuk mengganti yang rusak, pertimbangan yang tepat harus diberikan untuk penilaian dari ketidakpastian uji karena meningkatnya dugaan kesalahan.

4.2.8 Penentuan daya listrik pra dan pasca uji retrofit

Bila ketelitian yang diperlukan dari uji verifikasi relatif memungkinkan, dengan kesepakatan antara para pihak terhadap pengujian, pengukur daya fiskal dengan unit yang permanen dapat digunakan. Penunjukan instrumen permanen harus mempunyai resolusi yang cukup dan sistem pengukuran harus menunjukkan kemampuulangan.

Bila menggunakan alat analisis uji daya digital, koreksi terhadap beban transformator arus dan trnasformator tegangan tidak perlu dilakukan bila beban sirkit saat uji pra dan pasca retrofit adalah sama. Namun karena pertimbangan mungkin dapat diberikan ke beban sirkit khususnya bila alat analisis daya yang berimpedansi tinggi dihubungkan ke transformator uji yang dipergunakan, maka beban yang sesuai dapat ditambahkan ke sirkit.

4.3.1 Penentuan aliran yang akan diukur

Untuk uji verifikasi retrofit, aliran yang diukur dapat dibagi dalam dua katagori:

- a) Aliran primer : Aliran yang berbanding langsung dengan nilai garansi dan yang harus diukur dengan derajat ketelitian yang sesuai (lihat 7.4 dari IEC 60953-2).

Kemampuan gawai pengukuran aliran yang ada harus diperiksa lebih dahulu pada setiap pengujian, dan bila perlu memperbaiki atau memodifikasi gawai yang terpasang.

Pada beberapa kasus pembangkit tua, mungkin memeriksa kesalahan pada pengukur aliran primer dengan pengukuran aliran tambahan pada dua atau lebih lokasi yang berbeda. Akan tetapi, dalam hal terjadi ketidaksesuaian pengukuran aliran primer lebih diutamakan.

- b) Aliran sekunder : Aliran yang diperlukan untuk pengoperasian pembangkit dan yang harus diperhitungkan dalam penyetelan nilai aliran primer yang diukur, untuk menentukan aliran uap awal turbin dan uap pemanas ulang. Aliran sekunder harus diukur, bila pengaruhnya signifikan dan praktis untuk diukur. Kemungkinan lain, aliran dapat dihitung dengan nilai keseimbangan kalor atau nilai desain.

4.3.3.1 Lokasi gawai aliran primer tambahan

Berdasarkan kesepakatan antara para pihak terhadap pengujian, gawai aliran yang sesuai dapat ditambahkan pada saluran air pengisi tekanan tinggi setelah pemanas air pengisi. Hal ini akan memberi ketelitian yang lebih tinggi dan terpercaya dalam verifikasi. Rincian desain nosel cerat kerongkongan bertekanan tinggi diberikan pada lampiran B dari IEC 60953-2. Contoh pengukuran aliran pada sisi masuk *dearator* dan air pengisi akhir diberikan pada lampiran I.

4.3.4.1 Pengukuran tekanan diferensial untuk uji pra dan pasca retrofit

Bila kemampuulangan seri uji dibutuhkan, disarankan penggunaan transmiter tekanan elektronik. Transmitter tekanan elektronik tersebut harus dapat mendemonstrasikan kemapuulangan jangka panjang dan ketelitian yang tinggi. Guna mengurangi ketidakpastian pengukuran lebih lanjut, disarankan transmiter duplikasi dipasangkan pada masing-masing pasangan dari cerat gawai.

4.4.5.1 Kalibrasi transmiter tekanan diferensial aliran primer

Bila gawai aliran primer ditempatkan pada bagian tekanan rendah dari sistem air pengisi, transmiter sebaiknya dikalibrasi dengan tekanan rendah yang corongnya terbuka ke atmosfer dan secara bersamaan menghubungkan sumber tekanan tinggi ke sisi tekanan tinggi gawai. Namun, transmiter harus dapat mendemonstrasikan ketidakepekaannya terhadap kenaikan tekanan statis yang kecil pada saluran.

Bila lokasi gawai aliran primer adalah sedemikian sehingga tekanan kerja transmiter secara signifikan lebih tinggi daripada tekanan atmosfer, kalibrasi harus dilakukan pada tekanan kerja, kecuali jika transmiter telah mendemonstrasikan tidak bergantung pada tekanan statis pada saluran bertekanan tinggi. Caranya ini dapat dicapai dengan menggunakan penguji bobot mati dengan dual piston yang sesuai.

4.7.7 Penggunaan teknik penelusur pada pemakaian retrofit

Kadang-kadang aliran primer dan/atau sekunder tidak dapat diukur dengan cukup teliti disebabkan kesalahan atau ketidakakuratan gawai aliran. Dalam kasus demikian, teknik penelusur memberikan alternatif praktis (lihat lampiran K).

5 Evaluasi pengujian

5.1 Persiapan evaluasi

Evaluasi hasil uji melibatkan seluruh rantai aktivitas yang semuanya berkontribusi terhadap ketelitian hasil akhir. Pada retrofit yang perbaikannya digaransi, nilai garansi ditentukan sebagai selisih antara pengukuran uji pra retrofit dan uji pasca retrofit. Pengukuran untuk kedua uji pra retrofit dan uji pasca retrofit harus digunakan untuk menghitung perbaikan unjuk kerja turbin sehubungan dengan pertimbangan yang diberikan pada semua faktor yang mempengaruhi. Dengan mempertahankan kondisi operasi uji pra dan pasca retrofit sedekat mungkin akan mengurangi ketidakpastian koreksi dan menyederhanakan evaluasi. Faktor yang paling penting adalah isolasi siklus dan kebocoran. Ketidakpastian pengukuran dari hasil uji juga akan ditentukan (lihat ayat 7 dari SA dan lampiran H dan J dari standar ini).

Dari pembacaan instrumen selama pengujian, hasilnya dihitung menurut 2.4 dari RS.

Sebelum mengevaluasi pengukuran, interval waktu yang seharusnya merupakan periode uji resmi harus dipilih dari seluruh periode selama pembacaan uji yang telah dilakukan. Interval ini harus sama dengan yang sekurang-kurangnya periode yang diberikan pada 3.8.3 dari SA ini. Selama periode ini, untuk uji absolut, ketentuan 3.8.1 dan 3.8.2 dari SA harus dipenuhi. Untuk uji relatif, Tabel 2 dan 3.3.1 dapat digunakan. Pembacaan semua instrumen termasuk instrumen terpadu, dan pengukuran waktu yang sesuai harus tersedia saat memulai dan mengakhiri periode uji yang dipilih (lihat 5.2.1 dari RS).

Dalam hal terjadi gangguan selama pengujian, semua pembacaan selama periode gangguan dapat dibatalkan, namun, sewaktu melakukan hal ini bukti harus dilengkapi. Sebelum dan sesudah gangguan tercapai kondisi keadaan ajek yang sama. Bila periode sebelum dan sesudah gangguan dievaluasi terpisah, maka ketidakpastian hasil uji tidak dibagi dengan \sqrt{n} , dengan n adalah jumlah interval uji. Akan tetapi, pengujian dapat dibagi dalam beberapa interval uji yang akan dievaluasi secara terpisah. Akan tetapi, uji hanya dapat dinyatakan terpisah jika isolasi siklus telah rusak dan diperbaiki kembali selama pengujian.

Pada saat terjadi kegagalan sementara pada instrumen pengukur selama pengujian, berdasarkan kesepakatan bersama, kesalahan pembacaan instrumen dapat diuraikan dari

pembacaan instrumen lain yang sesuai atau, bila kondisi operasi pembangkit cukup stabil/ajek, dapat diganti dengan pembacaan rata-rata instrumen sebelum dimulainya dan setelah berakhirnya kegagalan instrumen. Sebagai contoh temperatur uap kerja menuju turbin dapat dihitung dari temperatur uap kerja pada sisi keluar boiler, didasarkan pada perbedaan yang mendekati konstan antara nilai-nilai tersebut (lihat 3.8.7 dari SA).

5.2.2 Koreksi dan konversi pembacaan rata-rata

Catatan Ganti item d) dari SA dengan teks berikut

d) setiap pengaruh tambahan (misalnya kolom air) (lihat 4.4.7 pada SA). Pentingnya koreksi ini ditekankan pada tingkat tekanan yang lebih rendah.

5.2.3.4 Kebocoran

Sejauh dapat dilakukan, kebocoran harus diidentifikasi dan dihilangkan sebelum pengujian. Bila setiap kebocoran yang teridentifikasi tidak dapat dihilangkan, laju aliran harus diukur atau diperkirakan. Perkiraan ini harus dimasukkan pada perhitungan laju aliran utama atau sekunder. Kebocoran yang tidak teridentifikasi, yang mengakibatkan rugi-rugi fluida kerja, harus juga mempunyai perkiraan laju aliran dan posisi yang dimasukkan pada perhitungan kecepatan aliran utama atau sekunder.

Kebocoran yang tidak dihitung selama pengujian, dinyatakan dalam persentase dari aliran uap utama saat beban penuh, tidak melebihi

0,6 %

Sebagai tambahan, perbedaan antara kebocoran tak terhitung uji pra dan pasca retrofit tidak melebihi

0,2 %

dari aliran uap utama pada beban penuh, kecuali ada kesepakatan lain. Disarankan uji awal dilakukan sebelum uji pra-retrofit untuk menentukan kebocoran tidak terhitung sebenarnya.

Bila memungkinkan, kebocoran harus diperkirakan dan diperbolehkan untuk keseimbangan aliran massa.

Kebocoran yang tidak dihitung harus dibagi secara merata sesuai dengan Tabel 3. Harga yang diberikan pada Tabel 3 dapat diubah, atas persetujuan bersama.

Tabel 3 - Pembagian merata dari kebocoran yang tidak dihitung

Persentase kebocoran yang tidak dilokalisir didistribusikan ke	Stasiun pembangkit konvensional	Stasiun pembangkit nuklir
Pipa uap sisi masuk dan pembangkit uap (termasuk stasiun pintas)	60 %	30 %
Turbin uap	40 %	70 %

Dapat diasumsikan bahwa, dari kebocoran yang berkaitan dengan turbin uap pemanas ulang, setengahnya terjadi sebelum tingkat pemanas ulang dan setengah sesudahnya (terjadi sama-sama pada pemanas-ulang yang panas dan pipa penghubung turbin IP dengan LP - crossover).

5.2.4 Sifat termodinamik uap dan air

Sumber dari sifat uap yang digunakan untuk garansi dan perhitungan hasil uji harus disepakati oleh pemakai dan pemasok, dan ditetapkan dalam kontrak.

Direkomendasikan bahwa sifat uap dan air sebaiknya diperoleh dari *International Association for the Properties of Water and Steam Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97)* atau tabel dan grafik yang didapat dari *IAPWS-IF97*. *IAPWS-IF97* telah menggantikan *Formulasi IFC 1967* untuk Penggunaan Industri.

Untuk perbandingan dengan hasil sebelumnya, adalah perlu menggunakan sifat dari sumber yang sama untuk mendapatkan informasi yang berarti.

5.2.5 Perhitungan hasil uji

Pada peretrofitan pusat pembangkit, dapat dilakukan pada sejumlah besar komponen, misalnya katup, pompa, penukar panas, dan lain-lain, namun, komponen yang paling penting dipertimbangkan dalam standar ini adalah bagian turbin. Berdasarkan pada spesifik komponen turbin HP, IP atau LP yang diretrofit dan nilai garansi, lingkup dari instrumentasi akan berbeda (lihat Klausul 4). Untuk itu, standar ini tidak memerlukan lokasi spesifik untuk pengukuran aliran. Meskipun demikian, jumlah pengukuran aliran harus konsisten terhadap garansi dan diperlukan ketelitian (lihat lampiran J).

Penentuan efisiensi isentropik turbin HP dan IP (silinder tidak-basah) tidak termasuk pengukuran aliran.

Penentuan tara kalor dan efisiensi turbin LP lebih rumit dan selalu mencakup pengukuran aliran. Prosedur evaluasi dapat dibagi menjadi dua langkah:

- keseimbangan aliran yang diperoleh dari volume acuan
- keseimbangan energi yang diperoleh dari volume acuan

Ada banyak kemungkinan menentukan aliran massa khusus (misalnya aliran uap kerja) dengan beberapa metode, seperti keseimbangan aliran massa rata-rata terhadap bagian yang berbeda dari sistem. Sebagai tambahan, aliran massa yang penting (misalnya aliran air pengisi) dapat ditentukan dari aliran massa yang diukur secara bebas pada lokasi yang berbeda dari siklus. Penggunaan rumus (H.7) sampai (H.10), dapat menentukan nilai bobot rata-rata dan ketidaktelitian aliran air pengisi.

Kesepakatan mengenai keseimbangan aliran diperlukan sebagai kondisi awal dalam perhitungan keseimbangan energi. Hal penting bila dua pengukuran aliran digunakan (lihat gambar J.1) misalnya:

- air pengisi langsung diukur sebelum boiler
- air pengisi tidak langsung ditentukan dari pengukuran aliran kondensasi utama dan keseimbangan kalor.

Bila perbedaan aliran lebih besar dari 0,5 %, penyebabnya harus diselidiki.

Untuk menentukan persamaan keseimbangan aliran massa, aliran alat-alat bantu khusus harus diukur dan juga variasi yang ada pada isi tangki dan tempat penyimpanan lainnya pada siklus uap/air.

Perjumlahan aljabar penurunan permukaan tangki (kg/s) dan ruang penyimpanan lainnya pada siklus, selama periode uji, harus dipertimbangkan sama terhadap kerugian dari siklus, dilengkapi bahwa tidak ada penambahan air yang diisikan kedalam siklus selama uji dan tidak ada medium kerja dengan sengaja dibuang dari siklus, hasilnya adalah:

$$\dot{m}_{loss} = \sum_{i=1}^N \dot{m}_i \quad (1)$$

Dengan:

\dot{m}_{loss} adalah jumlah rugi-rugi aliran

\dot{m}_i adalah penurunan permukaan (kg/s) pada tangki ke- i

Bila ada air penambah ($\dot{m}_{make-up}$) dimasukkan ke siklus, persamaan 1) menjadi persamaan 2):

$$\dot{m}_{loss} = \sum_{i=1}^N \dot{m}_i + \dot{m}_{make-up} \quad (2)$$

Hasil pengujian menjadi dasar untuk perbandingan terhadap garansi. Hal tersebut tergantung pada kondisi batas uji (kondisi uap kerja, kondisi uap pemanas ulang, tekanan buang turbin, dan lain-lain), bila hal itu ditetapkan. Sebelum hasil uji dinilai dan digunakan untuk perbandingan garansi adalah sangat penting hasil uji tersebut dikoreksi secara sempurna sesuai dengan persyaratan garansi. (Lihat ayat 6)

Termal dan/atau efisiensi termodinamik, kapasitas aliran uap awal dan keluaran, harus dikalkulasi sesuai dengan definisi dari nilai garansi (lihat 2.4 dari SR).

Nilai definitif harus diberikan untuk masing-masing variabel seperti dijelaskan pada 5.1 dan 5.2 dari SR. Nilai ini harus digunakan secara eksklusif untuk evaluasi lebih lanjut.

Dalam penentuan ketidakpastian pengukuran (lihat lampiran H).

5.2.5.1 Efisiensi turbin LP

Tidak seperti kebanyakan efisiensi turbin HP dan IP, efisiensi turbin LP tidak dapat ditentukan dengan mengukur temperatur dan tekanan secara langsung, akibat kebasahan titik akhir saluran ekspansi.

Pendekatan dalam menyelesaikan masalah dengan menggunakan kombinasi aliran dan keseimbangan kalor beban poros turbin HP dan IP dapat ditentukan. Beban internal dari turbin LP adalah:

$$P_{LP} = P_i - P_{HP} - P_{IP} \quad (3)$$

$$\dot{m}_m = \sum_{i=1}^N \dot{m}_{ei} + \dot{m}_4 \quad (4)$$

$$P_{LP} = \sum_{i=1}^N [\dot{m}_{ei} \times \Delta h_{ei}] + \dot{m}_4 \times \Delta h_{UEEP} \quad (5)$$

dengan

- P_i adalah daya internal dihasilkan oleh uap yang berekspansi
- P_{HP} adalah daya turbin HP
- P_{IP} adalah daya turbin IP
- P_{LP} adalah daya turbin LP
- \dot{m}_{in} adalah aliran massa pada sisi masuk LP
- h_{in} adalah entalpi pada sisi masuk LP
- \dot{m}_i adalah aliran massa pada ekstraksi i
- $\Delta h_{ei} = h_{in} - h_{ei}$ adalah penurunan entalpi dari sisi masuk LP ke ekstraksi i .
- N adalah jumlah ekstraksi
- \dot{m}_4 adalah aliran buangan
- h_{UEEP} adalah energi yang berguna pada titik akhir (UEEP – *Useful Energy End Point*)
- $\Delta h_{UEEP} = h_{in} - h_{UEEP}$ adalah penurunan entalpi dari sisi masuk LP ke buangan

Dua efisiensi isentropik dari turbin LP dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_{UEEP} = \frac{h_{in} - h_{UEEP}}{\Delta h_s} \quad (6)$$

$$\eta_{UEEP} = \frac{h_{in} - h_{UEEP}}{\Delta h_s} \quad (7)$$

$$h_{UEEP} - h_{ELEP} \text{ adalah rugi buangan (tidak dapat dipulihkan)} \quad (8)$$

dengan

h_{ELEP} adalah entalpi titik akhir saluran ekspansi. (ELEP – *Expansion Line End Point*)

Penggunaan persamaan (5) membutuhkan suatu prosedur berulang dengan diasumsikan efisiensi isentropik diubah sampai perhitungan beban internal sesuai dengan persamaan (5). Dalam prosedur tersebut adalah penting agar mempertimbangkan pengukuran entalpi ekstraksi. Entalpi ekstraksi terendah tidak dapat ditentukan secara langsung (daerah basah). Namun hal tersebut harus dimasukkan dalam *loop berulang*. Prosedur ini membutuhkan instrumen yang ekstensif (lihat gambar 2 dari SR) agar mendapatkan ketelitian yang dapat diterima. Lihat juga 2.4.8.

Hasil persamaan (5) sangat dipengaruhi oleh siklus air/uap. Namun, turbin uap dengan campuran silang yang mempunyai generator LP yang digerakkan terpisah yang hasilnya disederhahakan. Sebaliknya, turbin uap didesain dengan kombinasi turbin utama HP/IP menghimpun ekstensi dari aliran kebocoran internal antara turbin HP dan IP yang tidak dapat diukur langsung, tetapi dapat menghasilkan ketidaktelitian yang signifikan pada daya internal HP dan IP yang dihitung. Pada banyak kasus metode variasi temperatur memberikan kemungkinan dalam menentukan kebocoran internal (lihat lampiran L).

Penggunaan proses keseimbangan daya pada banyak pembangkit nuklir lebih rumit akibat kebasahan pada kedua silinder HP dan LP. Teknik penelusur diperlukan untuk menentukan kebasahan (dan karenanya entalpi) menentukan daya yang proporsional antara ekspansi HP dan LP.

6 Koreksi hasil uji dan perbandingan dengan garansi

6.1.1 Nilai dan persyaratan garansi yang spesifik terhadap retrofit

Disamping koreksi keseluruhan yang dicakup pada SA yang masih berlaku/sah, pedoman tambahan pada verifikasi retrofit membolehkan penyesuaian, yang diizinkan sebagai hasil dari keadaan khusus uji pra dan pasca retrofit, misalnya:

- variasi unjuk kerja yang diamati dari komponen yang tidak diganti
- persyaratan batas yang berubah secara independen disekitar komponen.

Sebagai contoh, bila silinder LP di retrofit, tetapi pada waktu yang bersamaan dilakukan pemeliharaan pada silinder HP dan IP, maka hasil uji pra-retrofit sampai pasca-retrofit, dapat terdistorsi. Sebagai tindakan pencegahan, uji penurunan entalpi (atau lainnya) harus dilakukan, pra-retrofit sampai pasca-retrofit, untuk mendeteksi penyimpangan atau perubahan langkah pada komponen yang tidak diretrofit dan kemudian digunakan koreksi yang sesuai untuk mengkompensasi kembali batas uji pra retrofit. Koreksi seperti ini dapat dibuat berdasarkan kurva/faktor koreksi dasar atau dengan pemodelan komputer keseluruhan.

Untuk menjamin perbaikan unjuk kerja komponen, pengujian harus dilakukan sedekat mungkin dengan cara sedemikian sehingga persyaratan batas sekitar diulang dari uji pra-retrofit ke pasca retrofit. Sebagai contoh, deviasi bebas pada rasio tekanan silinder, kapasitas laluan aliran turbin HP/IP, atau tumpahan/pengisian proporsional aliran dapat berarti bahwa faktor koreksi diperlukan.

Amandemen dari nilai perbaikan tara kalor yang digaransi itu sendiri juga diperbolehkan, bila hal ini ditetapkan dengan uji pra-retrofit yang nilai dasar asumsi nominal tidak benar. Hal ini harus menjadi bagian dari prosedur uji yang disepakati yang digunakan pada dasar pro-rata, dan nilai perbaikan amandemen garansi harus disampaikan sebelum terjadi gangguan sewaktu retrofit.

Secara umum, koreksi yang diperbolehkan ditentukan oleh batas termodinamik disekitar pembangkit yang dimodifikasi. Hal ini termasuk keluaran boiler dan lain-lain, tetapi dalam banyak kasus modifikasi mengubah unjuk kerja dari pembangkit terkait dan, pada kasus ini, koreksi tidak diperbolehkan. Sebagai contoh, bila pembangkit yang diretrofit mengubah kondisi pemanas ulang, maka semprotan pemanas ulang dapat terpengaruh. Perubahan ini perlu ditentukan dan dapat digunakan sebagai kesatuan titik koreksi. Pertimbangan yang sama berlaku untuk pembangkit kondensasi dan pembangkit pemasok panas.

Kebocoran dapat signifikan pada pembangkit tua dan efeknya pada uji retrofit harus dipertimbangkan secara menyeluruh (lihat 5.2.3.4)

Bila pembangkit yang dimodifikasi merupakan bagian kecil dari sistem keseluruhan, tetapi mempunyai pengaruh terhadap banyak komponen lainnya, maka jumlah koreksi dapat menjadi sangat besar. Pada kasus ini, lebih baik membuat model komputer untuk mengatasi banyak koreksi secara bersamaan.

Formulasi koreksi standar untuk parameter siklus diberikan pada lampiran E dari RS. Namun, kurva koreksi atau formulasi khusus terhadap siklus akan lebih baik digunakan sebaiknya telah dipersiapkan oleh pabrikan. Pemakai dapat mengajukan hak untuk memeriksa bahwa hal ini berlaku untuk siklus spesifik yang dipertimbangkan. Kurva koreksi harus disepakati sebelum melakukan setiap pengujian.

Secara umum, konsekuensi pada keseimbangan pembangkit dari retrofit turbin harus disepakati pada tahap kontrak.

6.8 Perbandingan garansi

Garansi unjuk kerja retrofit yang diberikan dalam kontrak harus menyatakan dengan jelas dan tidak bermakna ganda kondisi dicapai setelah uji verifikasi retrofit. Kontrak harus dianggap memenuhi bila nilai uji dikoreksi keseluruhannya, mencakup kelonggaran yang disepakati, tidak kurang dari nilai garansi yang diberikan dalam kontrak. Dalam menetapkan kelonggaran yang disepakati, harus dipahami tingkat unjuk kerja yang sangat mungkin dan kelonggaran tidak perlu sama dengan ketidakpastian pengukuran keseluruhan. Namun, bila kelonggaran tidak tercantum dalam kontrak, kelonggaran maksimum harus diperkirakan sama dengan ketidakpastian uji yang dihitung berdasarkan kode dan nilai aktual harus disepakati oleh para pihak.

6.9.1 Deteriorisasi unjuk kerja komponen yang diretrofit

Pertimbangan khusus harus diberikan pada deteriorisasi unjuk kerja dalam retrofit, karena umumnya komponen baru yang akan dipasang dalam sebuah pembangkit tua akan mengalami pengaruh deteriorisasi yang tidak normal. Hal khusus, kelonggaran dari "penambahan umur" harus dipertimbangkan dan disepakati oleh para pihak dalam kontrak. Pada kasus garansi untuk peningkatan unjuk kerja, uji pra retrofit harus dilakukan segera sebelum diberhentikan untuk retrofit agar memperkecil penyimpangan instrumen uji sekecil mungkin dari pra sampai pasca pengukuran. Uji penurunan entalpi dengan maksud verifikasi efisiensi silinder harus dilakukan dengan segera dan dapat dilakukan tanpa persiapan yang banyak.

Bila ada keterlambatan pengujian yang tidak terhindari melebihi delapan minggu dari tanggal untuk beroperasi kembali, untuk hal keterlambatan, tabel acuan 6.9 dari SA untuk deteriorisasi tara kalor pada pembangkit berbahan bakar fosil dapat digunakan untuk menentukan kelonggaran. Pada tiap siklus, kontribusi deteriorisasi efisiensi masing-masing komponen pada tara kalor harus disepakati oleh para pihak sebelum pengujian. Nilai tipikal untuk siklus pemanas ulang adalah :

HP : 0.44
IP : 0,28
LP : 0,28

Nilai ini menggambarkan pengaruh pada tara kalor yang dipakai hanya pada silinder-silinder yang di retrofit (misalnya, bila hanya silinder HP yang di retrofit, pengaruhnya akan 44 % dari laju deteriorisasi yang diberikan pada SR). Pedoman mengenai pengaruh yang berkaitan pada efisiensi silinder dapat diperoleh dengan membagi tara kalor dan faktor pengaruh efisiensi silinder (lihat contoh pada 1.1.2.2) Untuk susunan dan siklus lain, proporsi kontribusi silinder harus dihitung dan disepakati oleh para pihak sebelum pengujian.

Lampiran H (Normatif)

Mengukur ketidakpastian hasil-aplikasi retrofit ¹⁾

Pengujian pra dan sesudah retrofit untuk verifikasi garansi memusatkan perhatian pada kesalahan yang bias dan kesalahan acak. Karena garansi bersifat relatif dan tidak mutlak, pentingnya kesalahan yang bias betul-betul dikurangi. Lampiran ini merekomendasikan metode-metode dan rumus-rumus khusus untuk situasi retrofit.

Hasil perhitungan uji didasarkan pada kesalahan instrumentasi (kesalahan pembacaan, kesalahan integrasi, dsb.). Ketelitian dalam menentukan sifat fisik seperti temperatur dan tekanan dapat ditingkatkan dengan mengulang pengukuran dan perhitungan nilai rata-rata dengan menggunakan metode statistik. Pernyataan ini hanya berlaku jika kesalahan terdistribusi secara acak.

Distribusi pembacaan berulang dari titik pengukuran tunggal kebanyakan berjenis Gaussian. Namun demikian, untuk alasan praktis, tidak mungkin mengambil suatu jumlah pembacaan tidak terbatas. Oleh karena itu, distribusi Gaussian diubah ke dalam distribusi *student* (distribusi-t) untuk suatu jumlah pembacaan terbatas. Karenanya nilai rata-rata dan simpangan baku yang diperkirakan adalah sebagai berikut :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (\text{H.1})$$

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (\text{H.2})$$

Dengan

s adalah deviasi standar

X_i adalah pembacaan variabel X

\bar{X} adalah nilai rata-rata variabel X

N adalah jumlah pembacaan

Interval kepastian V dari suatu nilai yang diukur (X_i) dan nilai rata-rata (\bar{X}) masing-masing dinyatakan dari distribusi *student* sebagai berikut :

$$V_{X_i} = \pm t \times s \quad (\text{H.3})$$

dan

$$V_{\bar{X}} = \pm \frac{t \times s}{\sqrt{N}} \quad (\text{H.4})$$

¹⁾ Lihat 7.1 dan lampiran F dari SA

Faktor *student t* adalah suatu fungsi jumlah pembacaan dan tingkat kepastian *P* (lihat Tabel H.1)

Tabel H.1 – Faktor *student t* untuk jumlah pembacaan (*N*) dan kepastian *P* yang berbeda

<i>k</i> = <i>N</i> -1	<i>P</i> = 95%	<i>P</i> = 99%
1	12,71	63,66
3	3,18	5,84
5	2,57	4,03
8	2,31	3,36
15	2,13	2,95
30	2,04	2,75
50	2,01	2,68
100	1,984	2,626
∞	1,960	2,575

Ada sejumlah sumber independen berbeda dari kesalahan distribusi secara acak, masing-masing diantaranya dengan interval kepastiannya sebagai berikut :

- interval kepastian V_A untuk kesalahan pembacaan
- interval kepastian V_I untuk kesalahan integrasi
- interval kepastian V_S untuk kesalahan sekelompok instrumen ukur atau kesalahan yang diketahui (kelas kualitas *G*) dari suatu instrumen ukur tertentu.
- Interval kepastian V_R akibat fluktuasi dari siklus

Interval kepastian dari kesalahan menyeluruh suatu variabel tertentu (ketidakpastian pengukuran) diberikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$V = [V_A^2 + V_I^2 + V_S^2 + V_R^2]^{1/2} \quad (\text{H.5})$$

Dengan V_S diganti dengan V_G ketika kelas ketelitian dari instrumen ukur diketahui.

Bila sistem akuisisi data modern yang sangat teliti digunakan, maka kesalahan pembacaan yang terjadi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Untuk penggunaan praktis ketidakpastian total dapat dibagi menjadi dua jenis kesalahan, kesalahan sistem atik rangkaian pengukuran dari instrumen ukur sampai ke nilai yang dihitung dan kesalahan acak akibat fluktuasi. Jadi :

$$V_{\text{tot}} = [V_{\text{sys}}^2 + V_{\text{ran}}^2]^{1/2} \quad (\text{H.6})$$

Dengan :

V_{sys} adalah kesalahan sistematis

V_{ran} adalah kesalahan acak

Sebagai suatu gambaran nilai rata-rata dan interval kepastian dari aliran massa total dihitung dengan rumus berikut, dengan pengukuran laju aliran massa yang terpisah adalah independen satu sama lainnya dan masing-masing secara paralel atau seri.

Untuk aliran massa yang diukur secara paralel, nilai rata-rata \dot{m} dan interval kepastian $V_{\dot{m}}$ adalah sebagai berikut :

$$\dot{m} = \sum_{i=1}^N \dot{m}_i \quad (\text{H.7})$$

$$V_{\dot{m}} = \left[\sum_{i=1}^N V_{\dot{m}_i}^2 \right]^{1/2} \quad (\text{H.8})$$

Dengan cara yang sama, untuk aliran massa yang diukur secara seri akan menghasilkan :

$$\dot{m} = \frac{\sum_{i=1}^N (\dot{m}_i \times \gamma_i)}{\sum_{i=1}^N \gamma_i} ; \quad \gamma_i = \frac{1}{V_{\dot{m}_i}^2} \quad (\text{H.9})$$

$$V_{\dot{m}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \gamma_i}} \quad (\text{H.10})$$

dengan :

\dot{m}_i adalah aliran massa tunggal i

$V_{\dot{m}_i}$ adalah interval kepastian aliran massa tunggal i

\dot{m} adalah nilai rata-rata aliran massa total

$V_{\dot{m}}$ adalah interval kepastian aliran massa total

Hasil uji tersebut (contoh : aliran massa, konsumsi panas spesifik dan efisiensi isentropik) dihitung dari variabel diukur dan koefisien dari sifat fisik. Umumnya, hasil akhir y ditentukan seperti rumusan berikut (lihat lampiran F untuk SA) :

$$y = F(X_i, b_k, c_m) \quad (\text{H.11})$$

Dengan (lihat juga H.12)

N_X adalah jumlah dari variabel diukur X_i

N_b adalah jumlah dari sifat fisik b_k

N_c adalah jumlah koefisien c_m

Sesuai dengan hukum perambatan kesalahan, interval kepastian dari suatu hasil dinyatakan dengan :

$$V_y = \left[\sum_{i=1}^{N_x} \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} \times V_{x_i} \right]^2 + \sum_{k=1}^{N_b} \left[\frac{\partial y}{\partial b_k} \times V_{b_k} \right]^2 + \sum_{m=1}^{N_c} \left[\frac{\partial y}{\partial c_m} \times V_{c_m} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (\text{H.12})$$

dengan

V_{X_i} adalah interval kepastian variabel diukur X_i

V_{b_k} adalah interval kepastian sifat-sifat fisik b_k

V_{c_m} adalah interval kepastian koefisien c_m

Hasil bagi diferensial parsial pada persamaan H.12 dapat digantikan oleh penentuan secara tepat dan hasil bagi diferensial yang dihitung secara numerik.

Pada pokoknya, hukum perambatan kesalahan H.12 hanya dapat diterapkan apabila semua variabel benar-benar independen satu sama lain. Pada kebanyakan kasus praktis, nilai dan koefisien dari sifat fisik tergantung pada nilai-nilai variabel diukur. Dalam hal ini, hubungan timbal balik antar variabel diukur dan sifat-sifat fisik dan koefisien akan dimasukkan ke dalam persamaan H.12 sebelum aplikasi hukum perambatan kesalahan.

Namun demikian, pengaruh saling ketergantungan dari variabel dapat diabaikan jika hal ini sangat menyederhanakan evaluasi pengujian dan jika hal ini tidak punya pengaruh yang signifikan atas nilai yang dihitung dalam pengukuran ketidakpastian.

Dalam banyak kasus dan khususnya apabila berkaitan dengan situasi retrofit, mungkin menjadi sangat sulit untuk menyatakan parameter yang dihitung sebagai suatu fungsi analitis. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk menentukan hasil bagi perbedaan dengan rata-rata numerik.

Diasumsikan bahwa setiap parameter yang tidak bebas (contoh : tara kalor (f_1), efisiensi turbin LP (f_2), dsb) adalah suatu fungsi dari jumlah parameter bebas $X_1, X_2, X_3 \dots X_N$. karenanya itu :

$$\begin{aligned} f_1 &= f_1 [X_1, X_2, \dots, X_N] \\ f_2 &= f_2 [X_1, X_2, \dots, X_N] \\ &\dots \\ f_L &= f_L [X_1, X_2, \dots, X_N] \end{aligned} \quad (\text{H.13})$$

Hasil bagi yang berbeda (faktor sensitivitas) didefinisikan sebagai turunan parsial dari fungsi f_1, f_2, \dots, f_L . Hasil bagi tersebut dapat ditunjukkan dalam suatu matriks (lihat Tabel H.2).

Tabel H.2 – Presentasi umum hasil bagi yang berbeda

	f_1	f_2	f_L
X_1	$\frac{\delta f_1}{\delta X_1}$	$\frac{\delta f_2}{\delta X_1}$	$\frac{\delta f_L}{\delta X_1}$
X_2	$\frac{\delta f_1}{\delta X_2}$	$\frac{\delta f_2}{\delta X_2}$	$\frac{\delta f_L}{\delta X_2}$
.....
X_N	$\frac{\delta f_1}{\delta X_N}$	$\frac{\delta f_2}{\delta X_N}$	$\frac{\delta f_L}{\delta X_N}$

Jika variabel tertentu X diukur secara serempak oleh beberapa instrumen ukur bebas, nilai rata-rata yang dibobotkan dan interval kepastian dapat ditentukan menurut persamaan (H.9) dan (H.10) dengan :

\bar{X} adalah nilai rata-rata yang dibobotkan dari variabel X ;

$V_{\bar{X}}$ adalah interval kepastian pada nilai rata-rata dibobotkan.

Jika suatu garansi mutlak untuk retrofit ditetapkan, prosedur untuk menghitung ketidakpastian hasil adalah langsung (contoh lihat rumus H.16 dan H.17, $V_{pre}=0$ dan V_{post} sesuai persamaan H.17). Namun demikian, jika garansi diberikan sebagai suatu perbaikan saja (garansi relatif) maka prosedur penuh harus digunakan. Jika hanya mempertimbangkan ketidakpastian yang bersifat relatif dan bukan secara mutlak, kesalahan yang bias menjadi tidak signifikan. Idealnya hal tersebut sebaiknya tidak muncul, tetapi pada kenyataannya ini tidak bisa dicapai berkaitan dengan beberapa penyebab seperti :

- jumlah instrumen ukur yang diganti
- waktu yang diijinkan antara pra dan paska pengujian retrofit
- perubahan antara pra dan paska kalibrasi pengujian retrofit.

Oleh karena itu, pengaruh dari kesalahan yang bias setiap instrumen tunggal harus dipertimbangkan. Jadi, interval kepastian dari perbaikan dapat ditulis :

$$V_{imp} = \left[\sum_{i=1}^N \varepsilon_i \times (V_{syspre}^2 + V_{syspost}^2) + \sum_{i=1}^N (V_{ranpre}^2 + V_{ranpost}^2) \right]^{1/2} \quad (H.14)$$

dengan

i adalah parameter i

N adalah jumlah parameter

V_{syspre} adalah interval kepastian sistematis pada pra pengujian retrofit;

V_{ranpre} adalah interval kepastian acak pada pra pengujian retrofit;

$V_{syspost}$ adalah interval kepastian sistematis pada paska pengujian retrofit;

$V_{ranpost}$ adalah interval kepastian acak pada paska pengujian retrofit;

ε_i adalah pecahan dari pengaruh kesalahan sistematis dari pra dan paska pengujian retrofit

$\varepsilon_i = 0$ adalah 0% pengaruh

$\varepsilon_i = 1$ adalah 100% pengaruh

Jika pengukuran diambil dengan instrumen ukur yang sama sekali berbeda yang sudah dipasang secara terpisah untuk uji pra- dan pasca-retrofit, kondisi tersebut dapat dipertimbangkan sebagai pengukuran bebas. Karenanya, interval kepastian dari perbaikan ($\varepsilon_i = 1$) adalah :

$$V_{imp} = \left[V_{pre}^2 + V_{post}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (H.15)$$

dengan

$$V_{pre} = \left[\sum_{i=1}^N \left(V_{sys,pre}^2 + V_{ran,pre}^2 \right)_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (H.16)$$

$$V_{post} = \left[\sum_{i=1}^N \left(V_{sys,post}^2 + V_{ran,post}^2 \right)_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (H.17)$$

Untuk uji pra- dan pasca-retrofit yang terpisah, interval kepastian sesuai dengan rumus (H.16) dan (H.17).

Namun demikian jika uji ini dilaksanakan dengan instrumen ukur yang tepat sama tanpa pemindahan peralatan ukur tersebut diantara pelaksanaan uji (pra- dan pasca-retrofit), kesalahan sistematis akan hilang dan persamaan H.14 menjadi ($\varepsilon_i = 0$) :

$$V_{imp} = \left[\sum_{i=1}^N \left(V_{ran,pre}^2 + V_{ran,post}^2 \right)_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad (H.18)$$

Dalam praktek, nilai ε_i harus ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut di atas.

Lampiran I (Informatif)

Perhitungan perbaikan retrofit – Contoh-contoh numerik (fosil dan nuklir)

I.0 Pendahuluan

Dua contoh perhitungan ditinjau masing-masing penerapannya untuk kasus khusus dari aplikasi praktis dan tidak dimaksudkan untuk memberi arahan umum:

I.1:

Suatu pembangkit berbahan bakar fosil yang mempunyai turbin pemanas ulang dengan garansi peretrofitan untuk unjuk kerja. Garansi yang diberikan didasarkan pada rekomendasi Tabel 1 tentang SR. Untuk retrofit silinder HP yang berfungsi didaerah kering, digambarkan kedua garansi mutlak dan relatif dari efisiensi silinder. Untuk retrofit silinder LP, yang berfungsi secara parsial didaerah basah, dikaji ulang garansi relatif atas tara kalor. Dalam hal garansi relatif, perbaikan didasarkan awalnya pada diagram kesetimbangan panas nominal dan diikuti oleh perubahan garansi pada titik pemeriksaan uji pra retrofit dengan verifikasi akhir dan perbaikan aktual yang dicapai selama uji pasca retrofit.

I.2.

Instalasi turbin pembangkit nuklir pada reaktor air bertekanan (PWR). Garis dasar diambil sebagai diagram kesetimbangan panas uji pra retrofit mengarah pada garansi perbaikan efisiensi dalam bentuk suatu garansi kontrak kesetimbangan panas. Hasil pasca retrofit juga diberikan dalam suatu diagram uji kesetimbangan panas.

Dua modifikasi retrofit yang terpisah diberikan untuk masing-masing jenis pembangkit.

I.1 Contoh peretrofitan turbin pemanas ulang berbahan bakar fosil

I.1.1 Umum

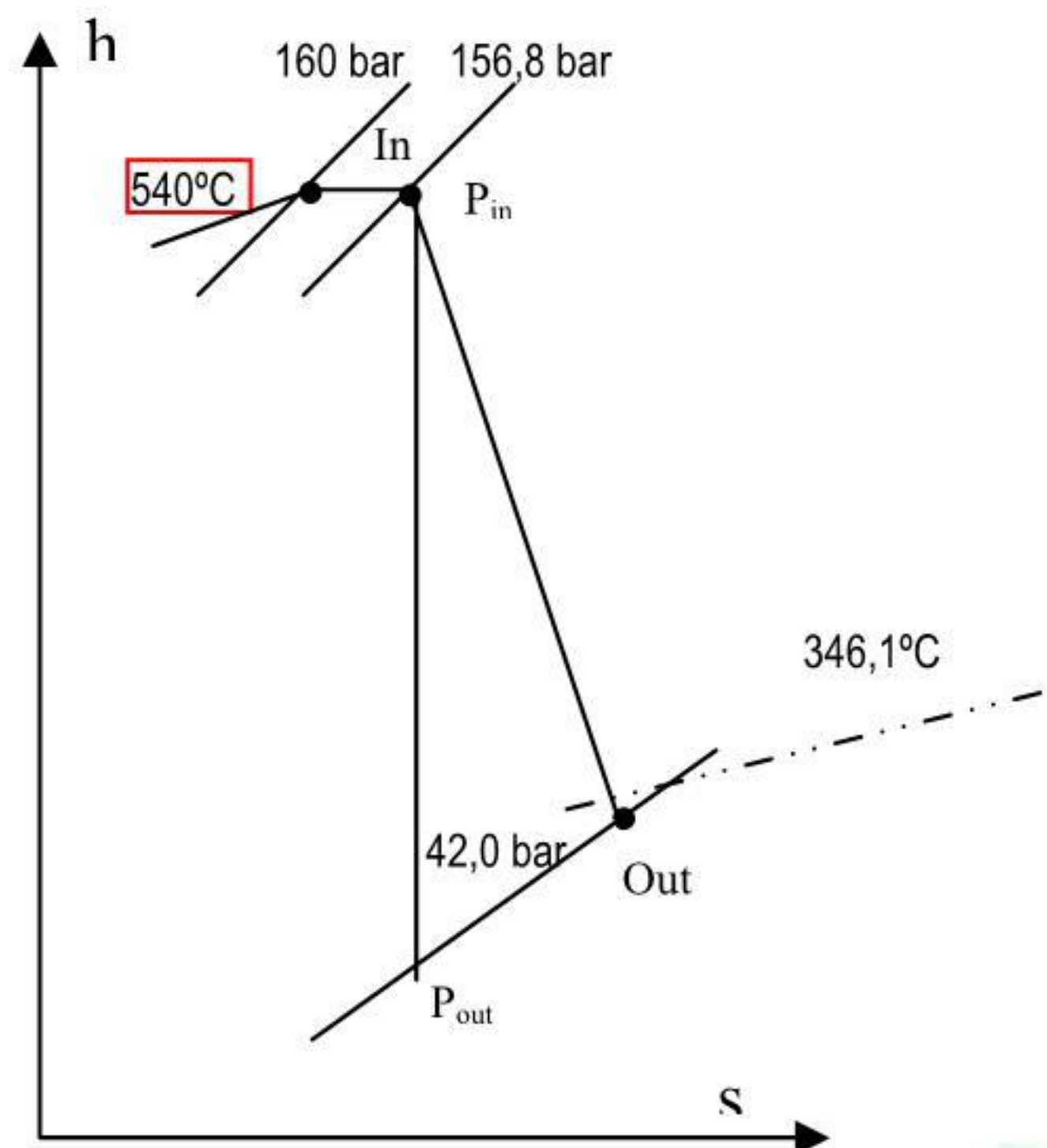
Contoh yang berhubungan dengan siklus pasok pemanasan regeneratif pemanas ulang konvensional yang menggunakan sumber generator dengan keluaran nominal 500 MW, putaran 3000 rpm, dengan koefisien silinder HP, IP dan LP yang disusun secara tandem. Kondisi uap yang dirancang adalah 160 bar, dengan uap kerja dan pemanasan ulang adalah 540 °C dan tekanan kondenser sebesar 0,050 bar. Turbin LP mempunyai dua silinder aliran ganda dengan luas annulus keluaran total 31,67 m².

Penataan siklus diperlihatkan pada gambar I.1.1, mempunyai konfigurasi yang disederhanakan dengan sedikit pemasok panas dan tidak ada kebocoran perapat untuk memungkinkan pemahaman yang lebih mudah dari prinsip-prinsip yang dipakai. Gambar I.1.1 menunjukkan diagram kesetimbangan panas orisinilnya (atau dapat berupa diagram hasil uji keberterimaan orisinilnya) untuk digunakan sebagai garis`dasar. Faktor-faktor koreksi tara kalor yang terkait pada posisi katup kendali tetap ditunjukkan pada gambar I.1.2.

Kurva-kurva ini adalah tipikal seperti ditunjukkan pada gambar I.1.2 dan harus`dihasilkan secara spesifik untuk masing-masing prosedur uji retrofit tertentu. Subyek dari contoh ini adalah retrofit silinder HP (I.1.2 – dan ini bisa juga berlaku secara tipikal untuk silinder IP) dan retrofit silinder LP (I.1.3). Keduanya sangat dipertimbangkan dari sudut pandang turbin-generator. Pengaruh dari kerja pembangkit terkait pada peningkatan efisiensi menyeluruh

juga diuji. Efisiensi dari kesetimbangan panas orisinilnya diperoleh sebagai berikut (lihat gambar I.0.1):

a) Silinder HP



Gambar I.0.1 – Ekspansi Silinder HP

Dari gambar I.1.1, $t_{tp} = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_{tp} = 160\text{ bar}$, dari tabel uap $h = 3.410,34\text{ kJ/kg}$.

Dari $h_{in} = 3.410,34\text{ kJ/kg}$ dan $p_{in} = 156,8\text{ bar}$, entropi $s = 6.456,5\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{K}$

Oleh karena itu, ekspansi isentropik turun ke 42,0 bar, $\Delta h_s = 382,49\text{ kJ/kg}$.

Titik akhir ekspansi aktual, h_{out} , dari $p = 42,0\text{ bar}$ dan $t = 346,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h_{out} = 3.080,5\text{ kJ/kg}$.

Oleh karena itu, efisiensi garis dasar silinder HP adalah :

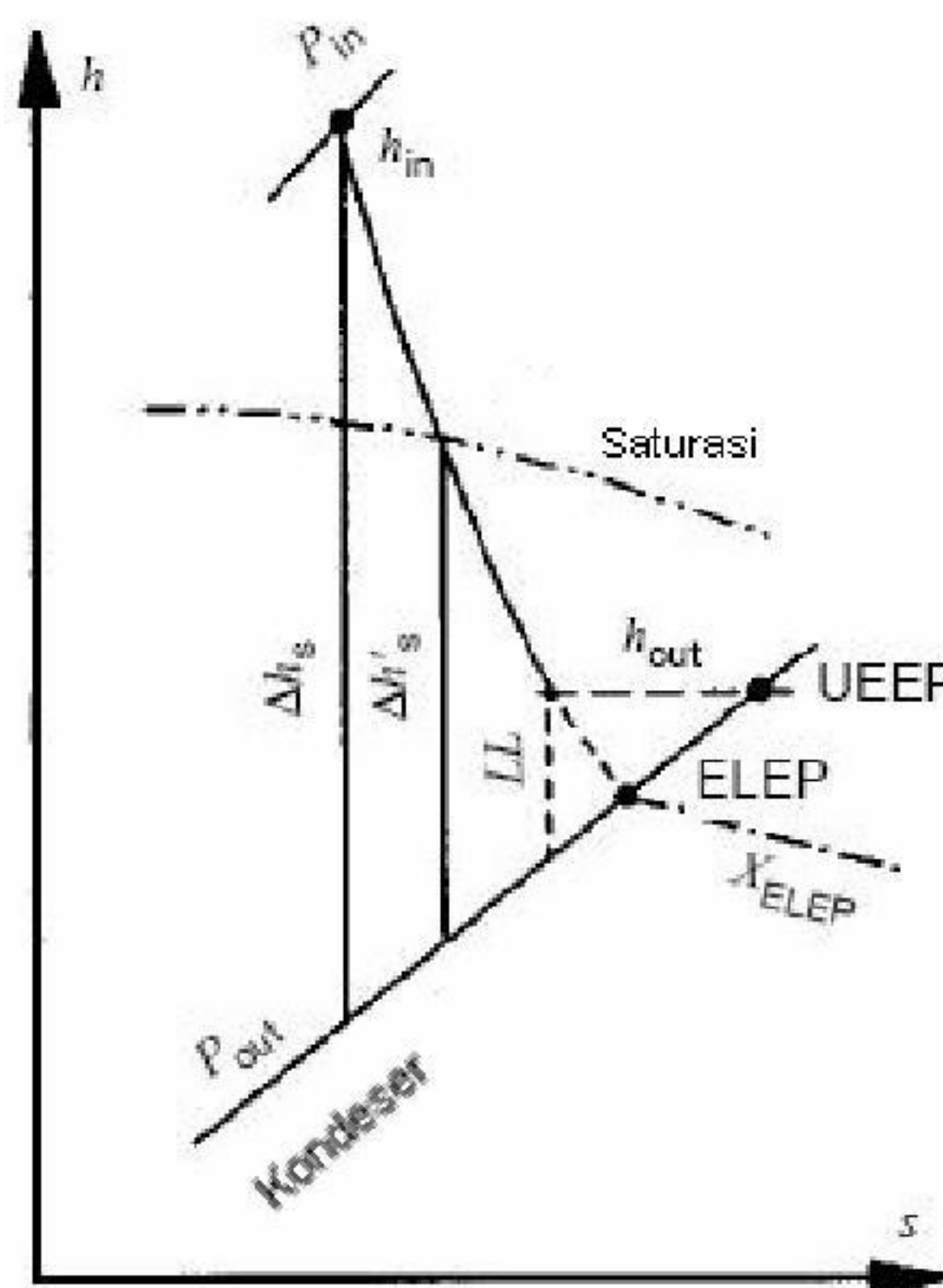
$$\eta_{cyl-HP} = \frac{3.410,3 - 3.080,5}{382,49} = 86,23\%$$

Perhitungan serupa, memberikan nilai untuk silinder IP adalah

$$\eta_{cyl-IP} = 89,87\%$$

b) Silinder LP

Untuk silinder LP, yang rugi-rugi lepas LL (utamanya berupa energi kinetik) adalah suatu kuantitas yang signifikan dan dengan ekspansi uap internal terjadi sebagian pada daerah basah. Perlakuan berikut memberikan beberapa definisi yang berguna dipakai dalam industri. (lihat gambar I.0.2).



Gambar I.0.2 – Ekspansi silinder LP

Rumus ini $\eta_{cyl} = \frac{h_{in} - h_{out}}{\Delta h_s}$, merupakan nilai global keseluruhan, dengan h_{out} disebut UEEP (energi yang berguna pada titik akhir). Titik ini berada dalam daerah basah dan karena itu biasanya disimpulkan dari perhitungan neraca daya siklus keseluruhan (lihat 5.2.5.1). Garis ekspansi LP percobaan adalah masukan yang turun pada h_{out} nilai iteratif:

Daya ekspansi silinder $\Sigma(HP+IP+LP)$ – rugi-rugi eksternal (mekanikal, elektrik, dll) = Tenaga generator.

Dari gambar I.1.1, neraca daya memberikan :

Keluaran generator 500.000 kW

Rugi-rugi eksternal :

- mekanik + 2.000 kW
- listrik + 7.614 kW

HP: $402,203 \times (3.410,3 - 3.080,5)$ - 132.646 kW

IP : $359,791 \times 3.538,0 - 25,501 \times 3.293,8 - 334,290 \times 3.005,8$ - 184.136 kW

LP: $309,914 \times 3.005,8 - 21,226 \times 2.760,5 - 16,376 \times 2.534,5 - 272,312 \times h_{out}$ 192.832 kW

Maka $h_{out} = 2.345,2 \text{ kJ/kg} = h_{UEEP}$.

Dari tabel uap dari $p_{in} = 4,975 \text{ bar}$, $h_{in} = 3.005,8 \text{ kJ/kg}$ secara isentropis ke 0,050 bar diperoleh :

$\Delta h_s = 761,8 \text{ kJ/kg}$

dan diperoleh efisiensi LP adalah $\eta_{cyl-LP} = \frac{3.005,8 - 2.345,2}{761,8} = 86,7\%$

Hasil dari proses ini harus diperlakukan dengan hati-hati, karena beberapa kekurangan yang tidak ditemukan pada bagian dari siklus uji dapat mengarah pada kesalahan didalam nilai kesimpulan efisiensi LP.

Titik ujung garis ekspansi bayangan (ELEP) dapat disimpulkan dari $(h_{UEEP} - h_{ELEP})$ lebih disukai diperoleh dari kurva pabrikan rugi lepas (yang meliputi pengaruh rugi selubung dan belokan sebagai tambahan terhadap rugi energi kinetik utama). Ini dapat diperiksa atau secara lengkap diberikan oleh hubungan berikut :

$$h_{UEEP} - h_{ELEP} = (\text{energi kinetik lepas, LL}) \times (\text{efisiensi basah pada buangan}).$$

Maka efisiensi basah statis dari silinder LP adalah:

$$\eta_{cyl-LP, wet} = \frac{h_{in} - h_{ELEP}}{\Delta h_s}$$

Dari kurva rugi-rugi lepas isentropis (gambar I.1.6) pada kecepatan aksial anulus buangan

$$219 \text{ m/s} \left(C_z = \frac{272,312 \times 25,4}{31,67} \right) \text{ untuk contoh kasus } LL = 25,1^2 \text{ kJ/kg.}$$

(Ini adalah nilai setelah iterasi akhir, contoh 25,4 adalah volume spesifik dari ELEP yang akhirnya ditentukan).

Oleh karena itu, $h_{UEEP} - h_{ELEP} = 25,1 \times 0,86$ (efisiensi basah) = 21,5 kJ/kg

Dengan 0,86 adalah suatu nilai tipikal tingkat akhir, biasanya diberikan dalam kurva rugi-rugi lepas pabrikan.

²⁾Ini bisa diperiksa terhadap kerugian energi kinetik, yang mana energi kinetik sederhana = $(219^2)/2.000 = 24 \text{ kJ/kg}$ dibandingkan dengan 25,1 ataupun dari segitiga kecepatan dengan deviasi supersonik :

Kecepatan sudu $U = 414 \text{ m/s}$ pada diameter tengah.

$$\text{Kecepatan relatif uap terhadap sudu} = a \times \sqrt{\frac{2}{k-1}} \times \sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right) \times \left(\frac{C_z}{a \times \sin \beta}\right)^2 - 1}$$

dengan a adalah kecepatan suara (381 m/s), $k = 1,125$ secara tipikal, $\lambda = 2(k-1)/(k+1)$. $\sin \beta$ dari gambar E9, secara tipikal 0,395 lihat SR).

$$\text{Kecepatan relatif uap terhadap sudu} = 1,524 \sqrt{\left(\frac{1,674}{0,395} + \frac{219}{381}\right)^{0,1176} - 1} = 506,3 \text{ m/s}$$

Dengan 381 adalah kecepatan suara, \sin (sudut sudu) = 0,395 ; 1,524 , 1,674 , dan 0,1176 adalah konstanta.

$$\text{Sudut fluida} = \sin^{-1}(219/506,3) = 25,6$$

$$\text{Kecepatan buangan mutlak} = \sqrt{414^2 + 506,3^2 - 2 \times 414 \times 506,3 \times \cos 25,6} = 223 \text{ m/s}$$

$$\text{Maka energi lepas} = (223)^2/2.000 = 25 \text{ kJ/kg}$$

Dengan, $h_{ELEP} = 2.345,2 - 21,5 = 2.323,7$ kJ/kg ,

Dan efisiensi LP : $\eta_{cyl-LP,wet} = \frac{3.005 - 2.323,7}{761,8} = 89,5 \%$

Efisiensi basis-kering terkait, yang memberikan indikasi kualitas aerodinamik internal dan secara luas invarian dengan tingkat kebasahan dan LL dalam aplikasi khusus diberikan oleh:

$$\eta_{cyl-LP,dry} = \eta_{cyl-LP,wet} / WCF$$

Dimana faktor koreksi kebasahan $WCF = 1 - \left(\frac{1 - X_{ELEP}}{2} \right) \frac{\Delta h'_s}{\Delta h_s}$

Untuk kasus dengan $h_{ELEP} = 2.323,7$ kJ/kg , pada $p = 0,050$ bar, $X_{ELEP} = 0,902$ dan dari tabel uap, bagian dari ekspansi itu dalam daerah basah $\Delta h'_s = 382,1$ kJ/kg

$WCF = 1 - \left(\frac{1 - 0,902}{2} \right) \frac{382,0}{761,8} = 0,9754$ (berdasar pada aturan perubahan efisiensi 1% untuk perubahan uap lembab 1%).

Oleh karena itu, $\eta_{cyl-LP,dry} = 89,5/0,9754 = 91,8\%$

Ekstraksi uap lembab, jika ada pada ekspansi, harus dihitung sebelum efisiensi dapat dibandingkan.

I.1.2 Peretrofitan silinder HP

I.1.2.1 Garansi mutlak

Dalam contoh ini, garansi pabrikan adalah untuk efisiensi silinder HP yang diretrofit sebesar 90,0%. Analisa garis dasar pada I.1.1 tidak mempunyai masukan langsung pada garansi HP mutlak ini (tetapi hanya pada kesetimbangan daya untuk perolehan efisiensi LP). Uji mutlak untuk HP diilustrasikan dalam gambar I.1.4 dengan angka relevan nampak sebagai penurunan entalpi diseluruh silinder. Indikasi dari angka-angla ini adalah uji efisiensi HP.

$$(3.410,3 - 3.065,9)/382,5 = 90,0\%$$

dan garansi mutlak dipenuhi.

I.1.2.2 Garansi relatif

Pada contoh kedua ini, garansi pabrikan adalah uji pra dan pasca retrofit untuk perbaikan efisiensi silinder aktual yang menunjukkan keuntungan yang timbul dari investasi retrofit.

Persiapan garansi pada perbaikan efisiensi HP, diberikan terhadap angka garis dasar 86,23% adalah titik persentase 3,77. Hal ini berhubungan dengan perkiraan pabrikan sebesar 90,0% untuk silinder baru.

Uji pra retrofit (dengan alat ukur yang ditunjukkan pada gambar J.1) menghasilkan ilustrasi dalam gambar I.1.3, menunjukkan pada alasan apapun suatu efisiensi terburuk nyata pada 84,0% dibanding acuan orisinilnyanya (dihitung sesuai metode pada I.1.1 dari uji penurunan entalpi). Oleh karena itu garansi perbaikan dikembangkan menjadi 6,0% titik persentase (90,0 – 84,0) untuk mencerminkan situasi nyata.

Uji pasca retrofit dilaksanakan untuk memeriksa garansi dan ini diilustrasikan pada gambar I.1.4. Efisiensi silinder HP dihitung dari kondisi masukan dan keluaran adalah 90,0%, berhubungan dengan suatu kenaikan $90,0\% - 84,0\% = 6,0\%$, dengan demikian nilai perhitungan itu ditetapkan menjadi dasar garansi perbaikan. (berhubungan dengan perbaikan tara kalor dari perhitungan kesetimbangan panas adalah 0,9% mendorong ke arah suatu faktor yang berpengaruh (lihat pada 6.9.1) pada $0,9/6,0 = 0,15$). Pinjaman sesuai diberlakukan pada hasil uji, jika mereka telah disetujui didalam kontrak.

Jika uji pasca retrofit telah dilaksanakan hanya empat bulan setelah sinkronisasi, SA (6.9) memberikan suatu nilai umur keseluruhan pada $(4 - 2) \times 0,1 \times \sqrt{150/500} = 0,11\%$ Tara kalor. Untuk retrofit, hanya 44% (lihat pada 6.9.1) dapat diterapkan ($= 0,048\%$ tara kalor dan suatu efisiensi silinder yang berhubungan dengan umur pinjaman pada titik $0,048/0,15 = 0,32\%$).

I.1.3 Kegiatan retrofit silinder LP dengan garansi relatif pada tara kalor (diperlakukan secara terpisah dari kasus HP)

Persiapan garansi pada perbaikan tara kalor, diberikan terhadap efisiensi LP tertuang didalam diagram acuan kesetimbangan panas (gambar I.1.1), adalah 0,93%. Efisiensi LP $\eta_{cyl-LP,dry} = 91,8\%$ ditingkatkan ke perkiraan pabrikan pada 94,0%. Faktor berpengaruh adalah $0,93/(94,0-91,8) = 0,42$. Oleh karena ketidak pastian pada status efisiensi acuan, persetujuan garansi meliputi ketetapan bahwa uji pra retrofit akan diperiksa nilai $\eta_{cyl-LP,dry}$ dan jika berbeda dari 91,8% garansi akan dikembangkan *pro-rata* dengan selisih nilai tersebut.

Garansi *pro-rata* menetapkan bahwa, sebagai contoh, jika uji pra retrofit menunjukkan $\eta_{cyl-LP,dry} = 88\%$, kemudian garansi akan menjadi 2,52%³⁾ dan *pro-rata*. Pada kejadian ini, analisa atas uji pra retrofit (gambar I.1.3) menunjukkan bahwa efisiensi LP nyata adalah lebih rendah daripada gambar acuan (pra retrofit $\eta_{cyl-LP,dry} = 89\%$). Oleh karena itu, garansi dikembangkan menjadi suatu perbaikan tara kalor pada :

$$0,93 + \left(\frac{91,8 - 89,0}{91,8 - 88,0} \right) \times (2,52 - 0,93) = 2,10\%$$

Uji pasca retrofit dilaksanakan (dengan peralatan ukur sesuai ditunjukkan dalam gambar J.1) untuk memeriksa garansi dan ini diilustrasikan dalam gambar I.1.5. Perbaikan tara kalor dihitung dari uji tara kalor penuh, dikoreksi dengan tepat menyesuaikan kondisi pengoperasian kontrak, adalah $\left(\frac{8.047 - 7.881}{8.047} \right) = 2,10\%$, dengan demikian penetapan garansi dikembangkan pada waktu uji pra retrofit.

Pinjaman sesuai diberlakukan pada hasil uji, jika mereka telah disetujui didalam kontrak.

³⁾ Nilai ini ditetapkan dengan rumus $(94,0 - 88,0) \times 0,42$.

I.1.4 Pengaruh retrofit pada unjuk kerja pembangkit terkait

Contoh yang diberikan pada I.1.2 dan I.1.3 berlaku hanya untuk unjuk kerja turbin generator. Bagaimanapun, perbaikan pada silinder turbin mempunyai pengaruh sekunder pada beberapa komponen terkait dan pada unjuk kerja pembangkit secara keseluruhan. Dua contoh berikut memberikan gambaran bagaimana pengaruh ini dapat diperhitungkan dengan menggunakan kurva koreksi (gambar I.1.2).

- a) Pengaruh perbaikan efisiensi dari silinder HP pada penambahan panas di dalam pemanas ulang dan pengaruhnya pada semprotan penurun panas.

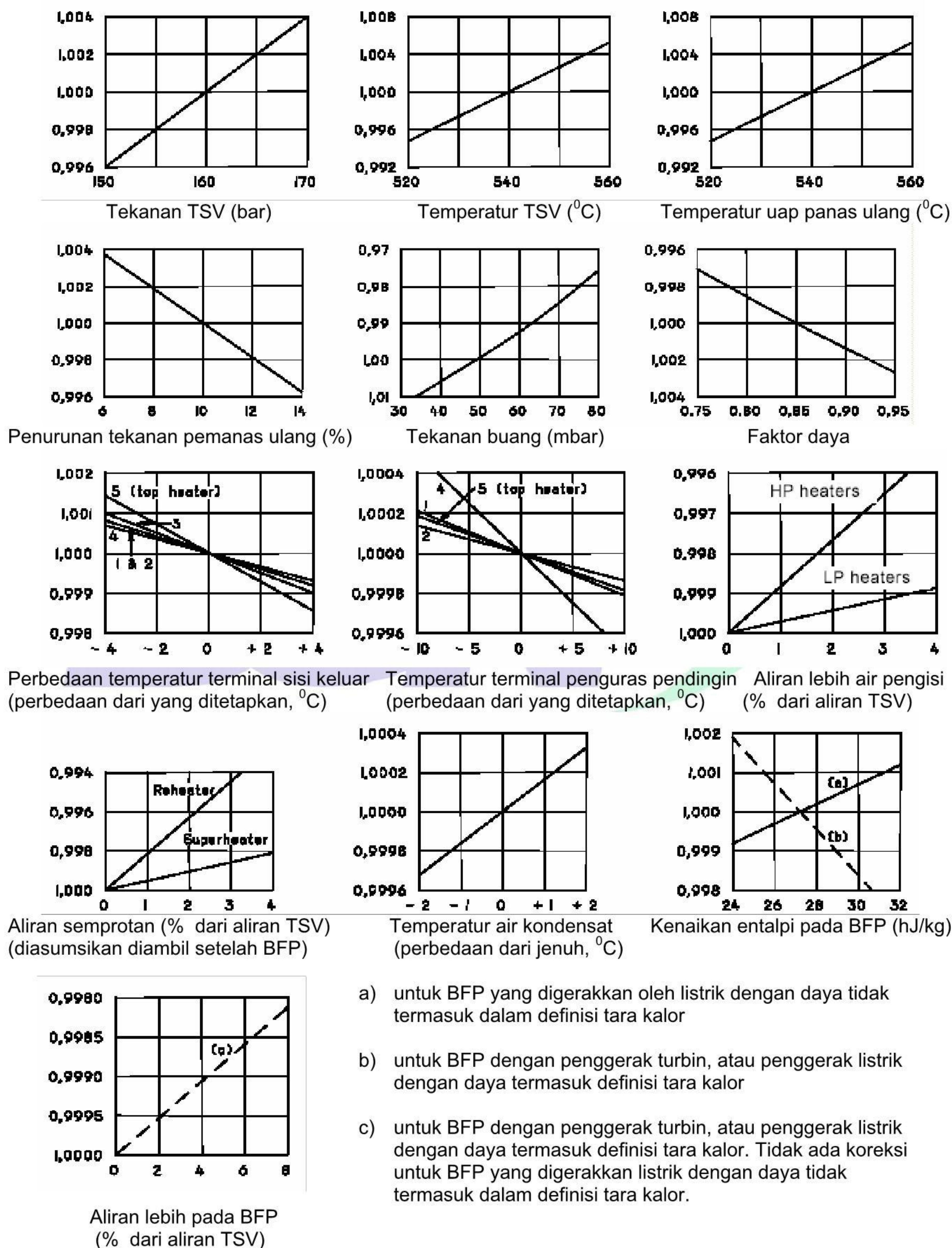
Diasumsikan bahwa pada prakteknya, kuantitas semprotan pada pemanas ulang pra retrofit adalah 3% dari aliran TSV. Penurunan tara kalor dalam kaitan dengan itu adalah 0,55% (gambar I.1.2). Suatu perbaikan efisiensi dari silinder HP dengan besaran diilustrasikan pada Gambar I.1.2 menurunkan temperatur buangan HP sampai 9 °C dan dengan demikian perbaikan penambahan panas oleh pemanas ulang dipertahankan pada temperatur 540 °C. Semprotan penurun panas akan menjadi 2,4% dengan pengaruh tara kalor termodinamik terkait pada 0,44%, jadi memberikan suatu tambahan keuntungan pada tara kalor sebesar 0,11%, menambah peningkatan (*gain*) turbin generator sebesar 0,90%.

- b) Pengaruh perbaikan efisiensi LP dalam penurunan pembuangan panas oleh kondenser dan peningkatan (*gain*) sekunder yang diakibatkan karena perbaikan tekanan kondenser.

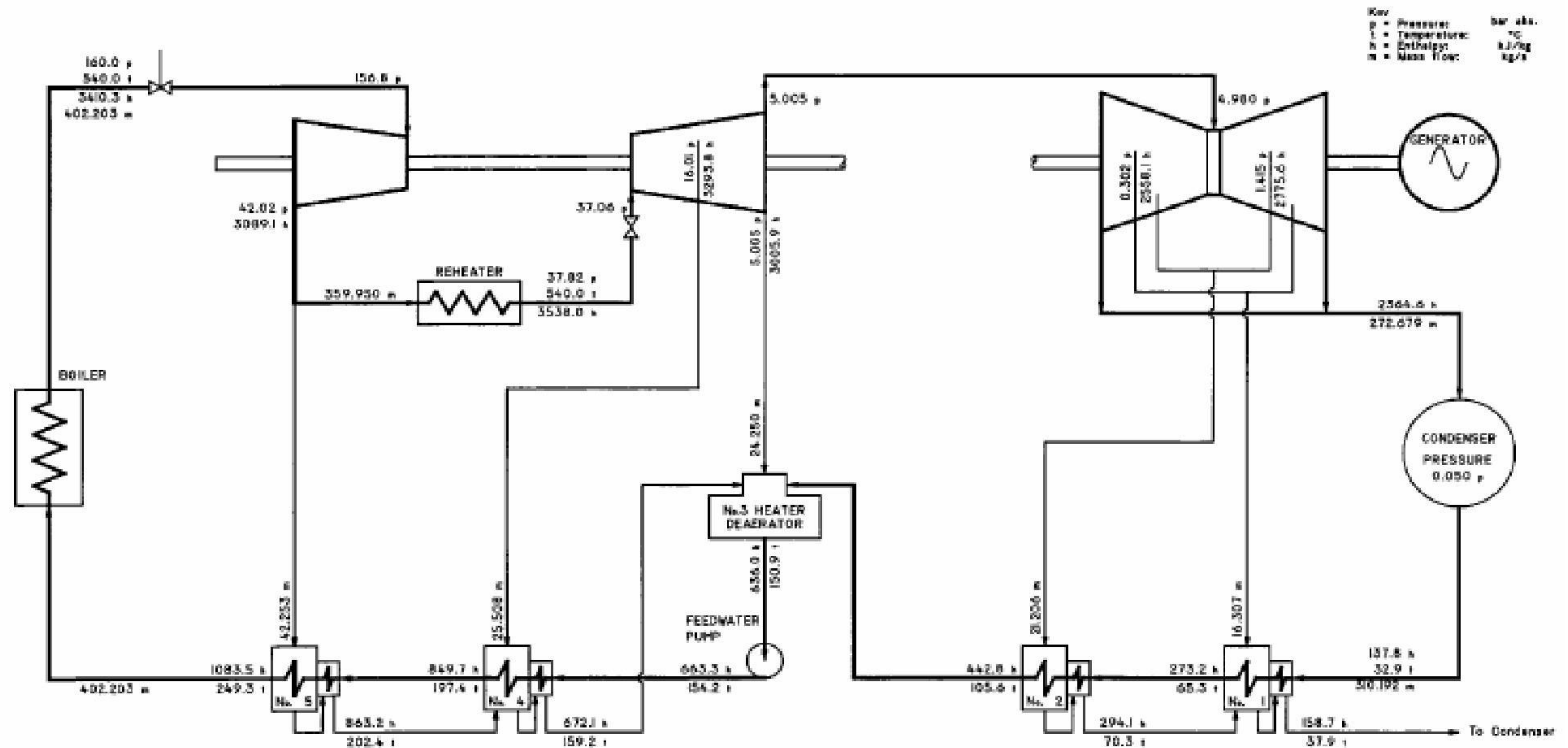
Penurunan pembuangan panas (100% ke 98%) ke kondenser dari pra ke pasca retrofit dengan kondisi air pendingin tetap akan meningkatkan vakum sampai 1 mbar. Perbaikan terkait dalam tara kalor akan berkisar 0,08% (gambar I.1.2) akan ditambahkan secara langsung ke turbin generator sebesar 2,1%.

Kasus a) dan b) menunjukkan pentingnya menetapkan batasan-batasan dalam garansi kontrak. Dalam contoh, garansi turbin telah dinyatakan secara tegas berdasar pada perbaikan 6% silinder HP (dengan tara kalor terkait sebesar 0,9%) dan perbaikan 2,1% tara kalor dari retrofit LP. Dengan kesepakatan pada tahap kontrak, garansi dapat mencakup pengaruh komponen eksternal untuk HP (dengan semprotan pemanas ulang) sebesar 1,01% ($= 0,90 + 0,11$) dan untuk LP (termasuk pengaruh kondenser) sebesar 2,18% ($= 2,10 + 0,08$).

Ordinat adalah faktor perkalian yang diterapkan pada tara kalor uji untuk memberikan tara kalor dalam kondisi yang ditentukan



Gambar I.1.2 – Kurva koreksi



Efisiensi Generator = 98,5 %

Efisiensi mekanikal = 2000 kW

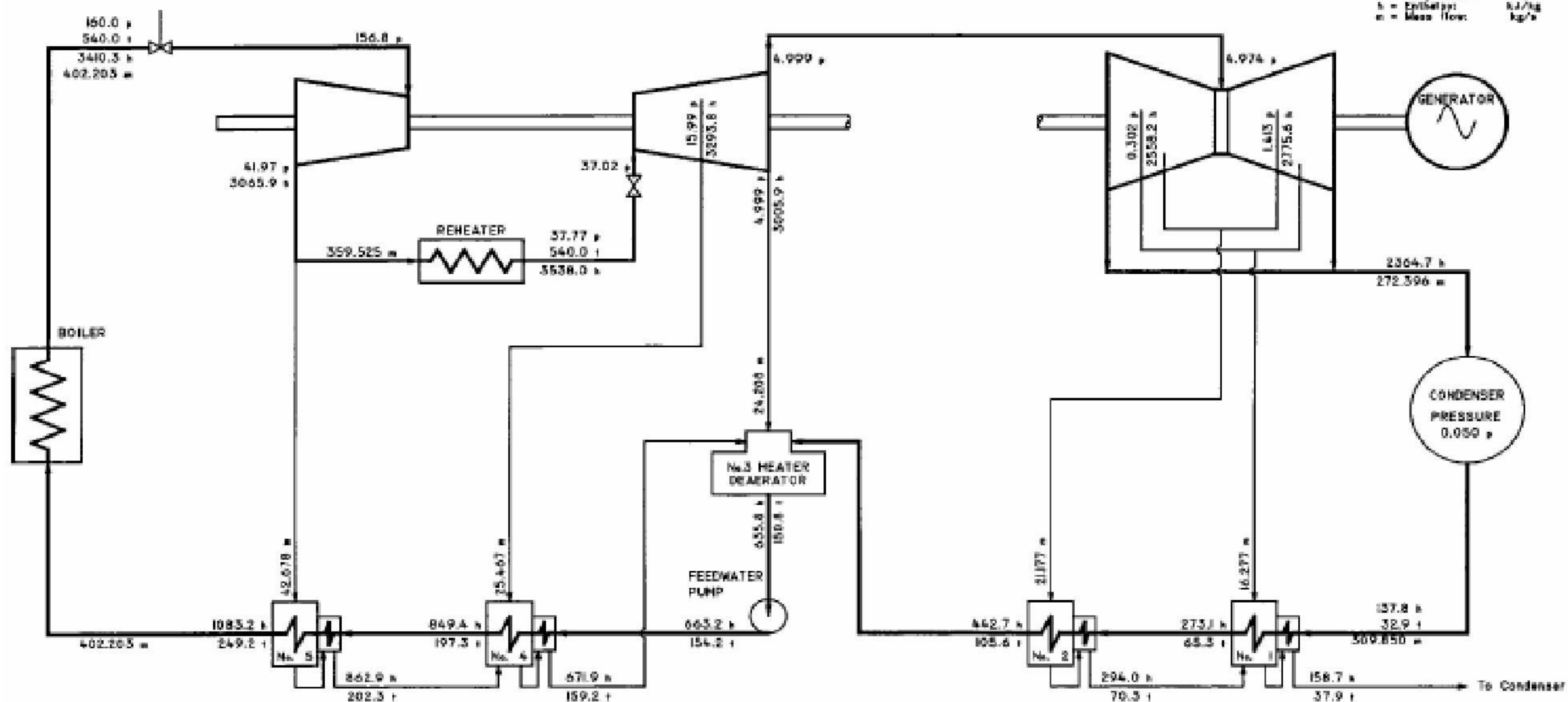
Keluaran bruto (pada terminal generator = 490941 kW)

$$\text{Tara Kalor} = \frac{\{402,203 \times (3410,3 - 1083,5) + 359,950 \times (3538,0 - 3080,5)\} \times 3600}{490941} = 8047 \text{ kJ/kWh}$$

Gambar I.1.3 – Uji pra retrofit

"Hak Cip"

Key
 p = Pressure bar abs.
 t = Temperature °C
 h = Enthalpy kJ/kg
 m = Mass flow kg/s



Efisiensi Generator = 98,5 %

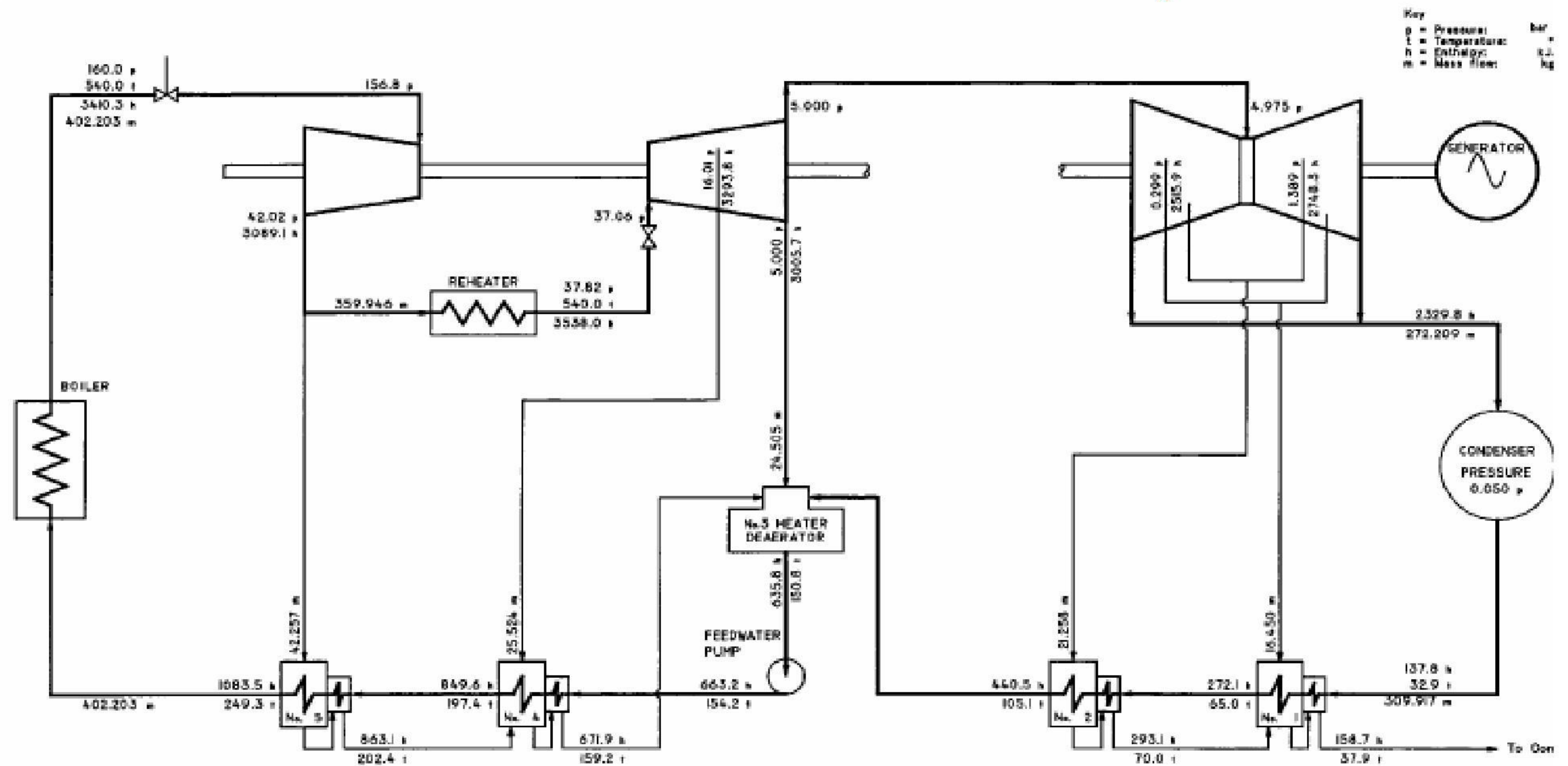
Keluaran bruto (pada terminal generator = 499709 kW

Efisiensi mekanikal = 2000 kW

$$\text{Tara Kalor} = \frac{\{402,203 \times (3410,3 - 1083,2) + 359,525 \times (3538,0 - 3065,9)\} \times 3600}{499709} = 7966 \text{ kJ/kWh}$$

Gambar I.1.4 – Uji pasca retrofit : silinder HP diganti

"dikomersilkan"



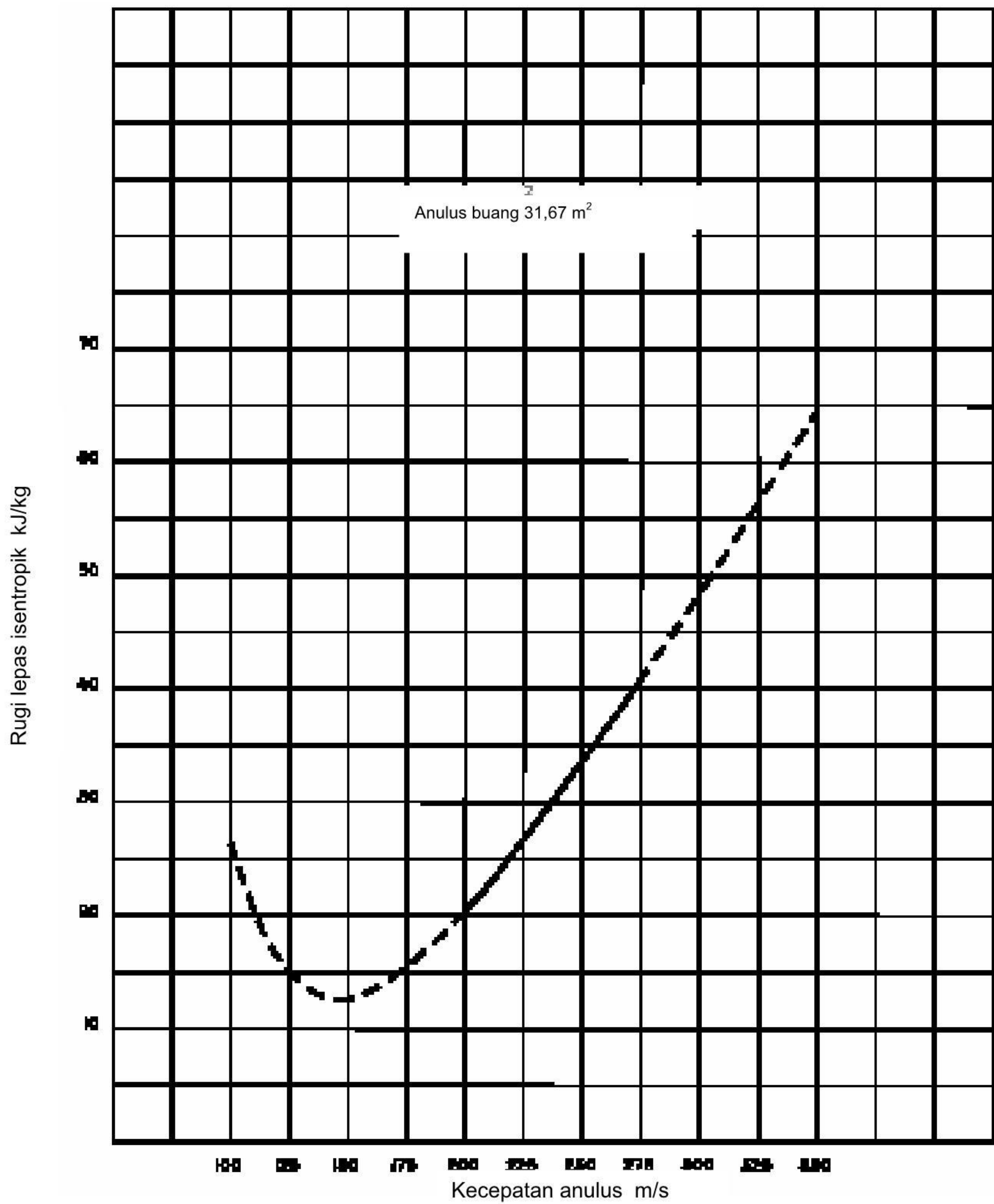
Efisiensi Generator = 98,5 %

Keluaran bruto (pada terminal generator = 501311 kW

Efisiensi mekanikal = 2000 kW

$$\text{Tara Kalor} = \frac{\{402,203 \times (3410,3 - 1083,5) + 359,946 \times (3538,0 - 3069,1)\} \times 3600}{501311} = 7681 \text{ kJ/kWh}$$

Gambar I.1.5 – Uji pasca retrofit : Silinder LP diganti



Gambar I.1.6 – Kurva rugi lepas

1.2 Contoh peretrofitan turbin nuklir

1.2.1 Umum

Contoh berikut berhubungan dengan pembangkit tenaga nuklir yang menggunakan turbin generator dengan keluaran 950MW, putaran 1500 rpm yang dikonfigurasi dengan silinder HP dan LP secara tandem. Kondisi desain uap kerja adalah saturasi kering pada 57-58 bar. Siklus termasuk pemisahan embun dan pemanasan ulang tunggal. Desain tekanan kondenser adalah sebesar 0,075 bar. Turbin LP memiliki dua silinder aliran ganda dengan total luas anulus buang 74,7 m².

Kelompok nuklir adalah tipe reaktor air bertekanan dengan tiga *loop*. Pengaturan siklus yang ditunjukkan pada gambar 1.2.9, merupakan gambaran sederhana dari sebuah pembangkit. Masing-masing pemanas pengisi mewakili dua pemanas pengisi yang paralel, kecuali untuk tangki air pengisi; sama halnya untuk pompa kondensat, pemanas ulang pemisah embun dan pompa air pengisi utama. Tidak ada kebocoran yang dipertimbangkan dalam siklus, untuk mendapatkan pengertian lebih mudah dari prinsip-prinsip yang digunakan.

Subyek dari contoh ini adalah retrofit silinder HP. Pra retrofit, FPC turbin tidak sesuai dan memiliki kapasitas berlebih, relatif terhadap sistem suplai uap nuklir. Penceratan sangat tinggi (sekitar 14 bar) dan mengakibatkan pengoperasian pembangkit tidak efisien. Retrofit terdiri dari modifikasi jalur uap HP dalam hal ini untuk mengurangi rugi-rugi penceratan dengan penyesuaian FPC dari silinder HP. Lintasan uap baru juga harus dapat menghasilkan peningkatan pada efisiensi internal.

Kelanjutan retrofit HP oleh pabrikan, setelah pembeli melakukan modifikasi karakteristik pembangkit uapnya. Pabrikan tidak diinformasikan adanya modifikasi ini pada saat menentukan garansi dan sebagai akibatnya tidak dimasukkan ke dalam kontrak kesetimbangan panas.

1.2.2 Skenario retrofit dan prosedur pengujian

Contoh mempertimbangkan suatu peningkatan tara-kalor yang diverifikasi melalui pra-uji dan pasca-uji. Keseluruhan skenario retrofit secara rinci mengikuti langkah-langkah berikut:

- **Langkah 1** : Pembeli menerbitkan sebuah garis dasar kesetimbangan panas yang ditetapkan dari uji garis dasar (gambar 1.2.9). Pembeli juga menetapkan tujuan dari retrofit dan kondisi operasi baru yang diharapkan yang harus digunakan sebagai persyaratan garansi (parameter-parameter pembangkit uap, tekanan kondenser, dll).
- **Langkah 2** : Pabrikan menerbitkan kesetimbangan panas yang digaransi (gambar 1.2.10). Bila hal tersebut dilakukan, pabrikan akan menggabungkan komponen baru tersebut dalam pembangkit secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan komponen lain yang diuraikan pada garis dasar kesetimbangan panas tetap tidak berubah. Pada contoh ini, pabrikan telah memodelkan bagian-bagian peralatan yang lain untuk dapat mempertimbangkan pengaruh perubahan sifat karakteristik termal dari masing-masing komponen. Kontrak ditandatangani berdasarkan kesetimbangan panas pada gambar 1.2.10.
- **Langkah 3** : Pra uji mengkonfirmasi garis dasar kesetimbangan panas (gambar 1.2.9). Tidak diperlukan penyesuaian garansi.
- **Langkah 4** : Retrofit dilaksanakan oleh pabrikan. Dalam contoh ini, selama retrofit, pembeli telah meneruskan dengan modifikasi yang lain yang tidak diketahui oleh pabrikan ketika pembeli menetapkan kesetimbangan panas yang digaransi.

- **Langkah 5** : Retrofit pasca-uji dilaksanakan. Kondisi operasional tampak sangat berbeda dari kesetimbangan panas yang digaransi, terutama disebabkan oleh perubahan yang dilakukan oleh pembeli yang tidak termasuk dalam kesetimbangan panas yang digaransi. (lihat I.2.1)
- **Langkah 6** : Pembeli mengundang pabrikan untuk menghitung ulang kesetimbangan panas pasca uji (gambar I.2.12) dengan mempertimbangkan kondisi operasional yang baru dan menggunakan model perhitungan yang sama dengan kesetimbangan panas yang digaransi dalam kontrak. Dengan menggunakan kurva koreksi yang diberikan oleh pemasok beserta kesetimbangan panas yang digaransi, pembeli mampu membuktikan bahwa kesetimbangan panas pasca-uji yang baru ini diperoleh dari kesetimbangan panas awal yang digaransi.
- **Langkah 7** : Perbandingan hasil uji dibuat dengan kesetimbangan panas pasca-uji dan koreksi diterapkan pada parameter-parameter yang diukur yang nilainya berbeda dari kesetimbangan panas ini.

I.2.3 Kurva koreksi

Kurva koreksi diberikan oleh pabrikan beserta garansi kesetimbangan panas. Semua kurva koreksi tersebut diperoleh berdasarkan perhitungan. Parameter lain dari yang dimodifikasi untuk perhitungan diasumsikan konstan. Atas permintaan pembeli dan tergantung pada mode pengoperasian pembangkit tenaga nuklir ini, seluruh kurva (kecuali kurva pembangkit termal, gambar I.2.8) mengasumsikan daya termal konstan pada keluaran generator dan dengan demikian mencakup variasi rugi-rugi penceratan dalam katup uap utama pada sisi masuk turbin. Tara kalor yang dikoreksi didapat dengan mengalikan tara kalor yang diukur dengan faktor koreksi.

Pada prinsipnya, hanya tiga parameter yang seharusnya dapat dikenakan untuk koreksi yang dipersiapkan, hanya jika turbin telah diganti : daya termal, tekanan masuk uap dan tekanan kondenser. Akan tetapi, dalam kenyataannya akan memungkinkan untuk membuat koreksi untuk setiap perubahan parameter sebagai akibat dari modifikasi komponen lain, dengan sengaja atau tidak, hal tersebut akan berdampak pada siklus termal. Dalam contoh ini, kurva koreksi diberikan untuk perubahan pembangkit uap dan karakteristik pemisah embun pada pemanas-ulang. Untuk menyederhanakan contoh ini, tidak ada kurva koreksi diberikan untuk perubahan dalam karakteristik pemanasan pengisi pembangkit.

Kurva koreksi tara kalor berikut diberikan oleh pabrikan :

- koreksi untuk tekanan uap utama (gambar I.2.1);
- koreksi untuk daya termal
- koreksi untuk tekanan kondenser (gambar I.2.3);
- koreksi untuk kualitas uap kerja (gambar I.2.4);
- koreksi untuk penurunan tekanan uap utama dalam pemanas ulang pemisah embun (MSRs) (gambar I.2.5);
- koreksi untuk temperatur uap panas ulang (gambar I.2.6)
- koreksi untuk kualitas uap pada keluaran pemisah embun (gambar I.2.7).

Selanjutnya, pembeli dapat menyediakan kurva yang memperlihatkan karakteristik operasi perlengkapan yang tidak termasuk dalam retrofit. Untuk contoh ini, pembangkit uap dikarakteristikan dengan mengikuti kurva berikut :

- kurva tekanan uap kerja sebagai fungsi dari beban termal (gambar I.2.8)

1.2.4. Penerapan kurva koreksi

Untuk perhitungan, efisiensi generator yang konstan sama dengan 0,989 dan dimisalkan faktor daya konstan.

1.2.4.1 Verifikasi perhitungan kesetimbangan panas pasca uji

Karena pasca-uji telah dilaksanakan pada kondisi operasi yang sangat berbeda dari kesetimbangan panas yang digaransi (daya termal berbeda, tekanan uap, tekanan buang), maka pabrikan diundang untuk menghitung kembali kesetimbangan panas pasca uji (gambar I.2.11) yang akan digunakan sebagai perbandingan antara nilai yang diukur dan yang digaransi.

Kesetimbangan panas yang baru ini sesungguhnya menggantikan kesetimbangan panas yang digaransi. Pembeli harus memiliki peluang untuk memeriksa bahwa tingkat unjuk kerja dari kesetimbangan panas baru sama dengan yang di dalam kontrak. Untuk tujuan ini, digunakan kurva koreksi yang diberikan oleh pabrikan. Parameter utama terangkum pada Tabel I.2.1.

Tabel I.2.1 - Parameter utama kesetimbangan panas (gambar I.2.9 sampai I.2.11)

Parameter utama kesetimbangan panas garis dasar (gambar I.2.9)						
Daya termal MW	Tekanan uap kerja bar	Kualitas uap kerja	Tekanan buang mbar	Daya turbin MW	Daya generator MW	Tara kalor kJ/kWh
2785	57,76	0,996 0	75	925,10	914,925	10958,3
Parameter utama kesetimbangan panas yang digaransi (gambar I.2.10)						
Daya termal MW	Tekanan uap kerja bar	Kualitas uap kerja	Tekanan buang mbar	Daya turbin MW	Daya generator MW	Tara kalor kJ/kWh
2785	57,72	0,996 0	75	954,14	943,640	10624,8
Parameter utama kesetimbangan panas pasca uji (gambar I.2.11) (pada kondisi uji)						
Daya termal MW	Tekanan uap kerja bar	Kualitas uap kerja	Tekanan buang mbar	Daya turbin MW	Daya generator MW	Tara kalor kJ/kWh
2730	60,11	0,997 0	85	925,60	915,420	10736,0

Faktor koreksi ditentukan dari kurva koreksi, untuk membandingkan kesetimbangan panas pasca uji baru dengan kesetimbangan panas yang digaransi sesuai kontrak.

Gambar I.2 8 (kurva tekanan uap kerja sebagai fungsi dari daya termal) menunjukkan bahwa tekanan sebelum katup turbin utama lebih tinggi dari yang seharusnya: pada beban termal 2730 MW, tekanan seharusnya berada pada 58,05 bar dan bukan 60,11 bar. Sehingga diperlukan koreksi parameter . Karena kurva koreksi tara kalor diberikan pada daya termal nominal, maka perlu untuk mengevaluasi tekanan yang akan dicapai pada daya nominal ini. Untuk tujuan ini, kemiringan kurva di atas diasumsikan konstan dan tekanan yang diperkirakan adalah :

$$60,11 - (58,05 - 57,72) = 59,78 \text{ bar}$$

Semua perbandingan antara gambar I.2.10 (kesetimbangan panas yang digaransi) dan gambar I.2.11 (kesetimbangan panas pasca-uji) dirangkum pada Tabel I.2.2 berikut.

Tabel I.2.2 – Perbandingan kesetimbangan panas antara yang digaransi dan yang dihitung ulang pasca uji

Parameter	Nilai parameter	Faktor koreksi	Acuan
Kualitas uap kerja	0,997 00	-	Gambar I.2.4
Faktor koreksi	-	1,000 10	
Rasio daya termal	0,980 25	-	Gambar I.2.2
Faktor koreksi	-	0,997 20	
Tekanan buang	85 mbar	-	Gambar I.2.3
Faktor koreksi	-	0,992 70	
Rasio tekanan uap kerja	1,036	-	Gambar I.2.1
Faktor koreksi	-	0,999 67	
Faktor koreksi total		0,989 69	
Tara kalor yang dihitung ulang pasca uji kJ/kWh		10 736	
Tara kalor yang dikoreksi – kJ/kWh		10 625	
Tara kalor yang digaransi – kJ/kWh		10 624,8	

Tara kalor sesuai kontrak adalah 10624,8 kJ/kWh. Pada contoh ini, perhitungan ulang pasca retrofit memiliki tingkat unjuk kerja yang sama dengan kesetimbangan panas yang digaransi sesuai kontrak dan oleh sebab itu prosedur ini dapat digunakan untuk memverifikasi nilai-nilai yang diukur.

I.2.5 Perbandingan nilai yang diukur dengan yang digaransi

Tabel I.2.3 memberikan nilai terukur untuk parameter-parameter utama dan nilai perhitungan yang berhubungan dengan kesetimbangan panas pasca retrofit.

Tabel I.2 3 – Nilai yang diukur dan yang dihitung dari pasca uji

Parameter utama	Satuan	Nilai yang diukur	Nilai yang dihitung
Tekanan sisi masuk uap utama ¹⁾	bar	60,11	60,11
Kualitas uap kerja ¹⁾	-	0,9983	0,9983
Beban termal ¹⁾	MW	2 730	2 730
Tekanan buang ¹⁾	mbar	85	85
Penurunan tekanan pada MSR	bar	0,459	0,388
Temperatur uap pemanasan ulang	°C	257,87	259,74
Kualitas uap pada sisi keluar MS	-	0,9907	0,9947
Temperatur akhir air pengisi	°C	221,7	221,6
Aliran uap ke turbin pompa air pengisi (FPT)	kg/s	21,93	21,89
Tara kalor pasca uji	kJ/kWh	10 761	10 736
¹⁾ Kondisi eksternal turbin yang digunakan untuk perhitungan kesetimbangan panas pasca retrofit			

Pada contoh ini, pasca-uji juga memperlihatkan tidak adanya perbedaan dalam karakteristik pemanas pengisi yaitu: beda temperatur terminal (TTD - *terminal temperature difference*), temperatur pendekatan penguras pendingin (DCA - *drain cooler approach temperature*), dan penurunan tekanan ekstraksi, antara nilai yang diukur dan yang dihitung.

Dari tabel di atas, terlihat bahwa beberapa nilai terukur berbeda dari yang dihitung. Hal ini berarti bahwa telah terjadi dalam siklus yang tidak terlihat. Pada contoh ini perbedaan-perbedaan dapat dijelaskan dengan beberapa malafungsi dari pemanas ulang pemisah embun pd pemanas ulang. Pabrikan dari HP yang diretrofit diizinkan mengoreksi tara kalor yang diukur untuk memperbolehkan penyimpangan-penyimpangan tersebut. Pengkoreksian ditunjukkan dalam Tabel I.2.4

Tabel I.2.4 Koreksi akibat perbedaan antara nilai yang diukur dan yang dihitung (dari kesetimbangan panas setelah dihitung ulang, gambar I.2.11).

Parameter	Satuan	Deviasi parameter/nilai	Faktor koreksi	Acuan
Deviasi penurunan tekanan pada MSR Faktor koreksi	bar	0,07 -	- 0,999 30	Gambar I.2.5
Deviasi temperatur pada sisi keluar MSR Faktor koreksi	K	-1,87 -	- 0,999 82	Gambar I.2.6
Kualitas uap pada sisi keluar MS Faktor koreksi		0,990 7 -	- 0,998 5	Gambar I.2.7
Faktor koreksi total			0,997 6	
Tara kalor yang diukur pasca uji	kJ/kWh		10 761	
Tara kalor yang dikoreksi	kJ/kWh		10 735,4	
Tara kalor yang dihitung ulang pasca uji	kJ/kWh		10 736	

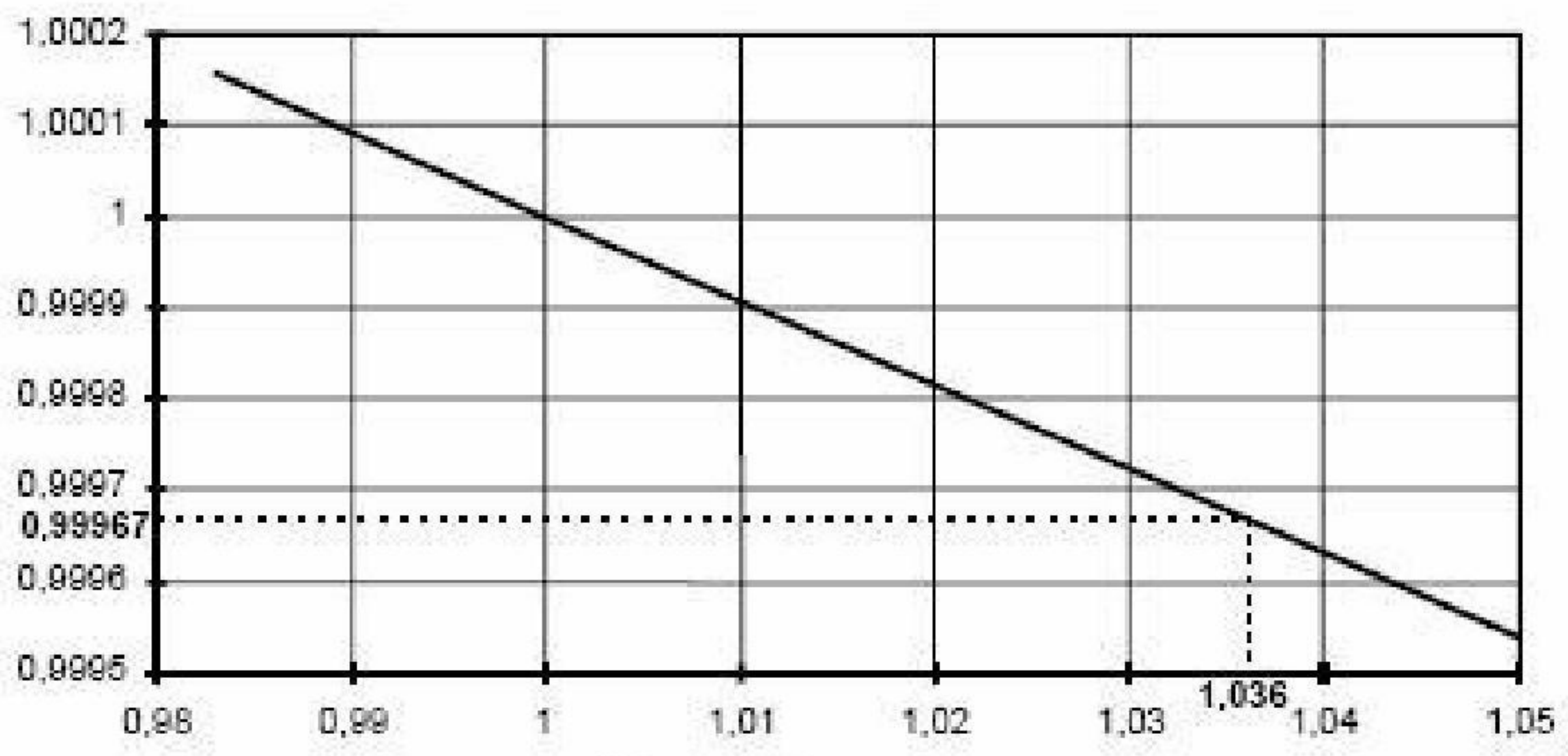
Tara kalor yang dikoreksi identik dengan tara kalor yang dihitung ulang pasca retrofit. Hal ini menunjukkan bahwa tara kalor yang dihitung, dikoreksi dengan mempertimbangkan kondisi operasi yang baru (metode kesetimbangan panas) dan untuk setiap operasi yang tidak normal dari komponen di luar lingkup retrofit (dengan kurva koreksi) dinyatakan sesuai dengan tara kalor yang digaransi. Ringkasan koreksi ditunjukkan pada Tabel I.2.5.

Tara kalor yang diukur dapat dikoreksi dan dibandingkan secara langsung dengan tara kalor yang digaransi (10.624,8 kJ/kWh):

$$10.761 \times 0.997.6 \times 0.989.69 = 10.625 \text{ kJ/kWh}$$

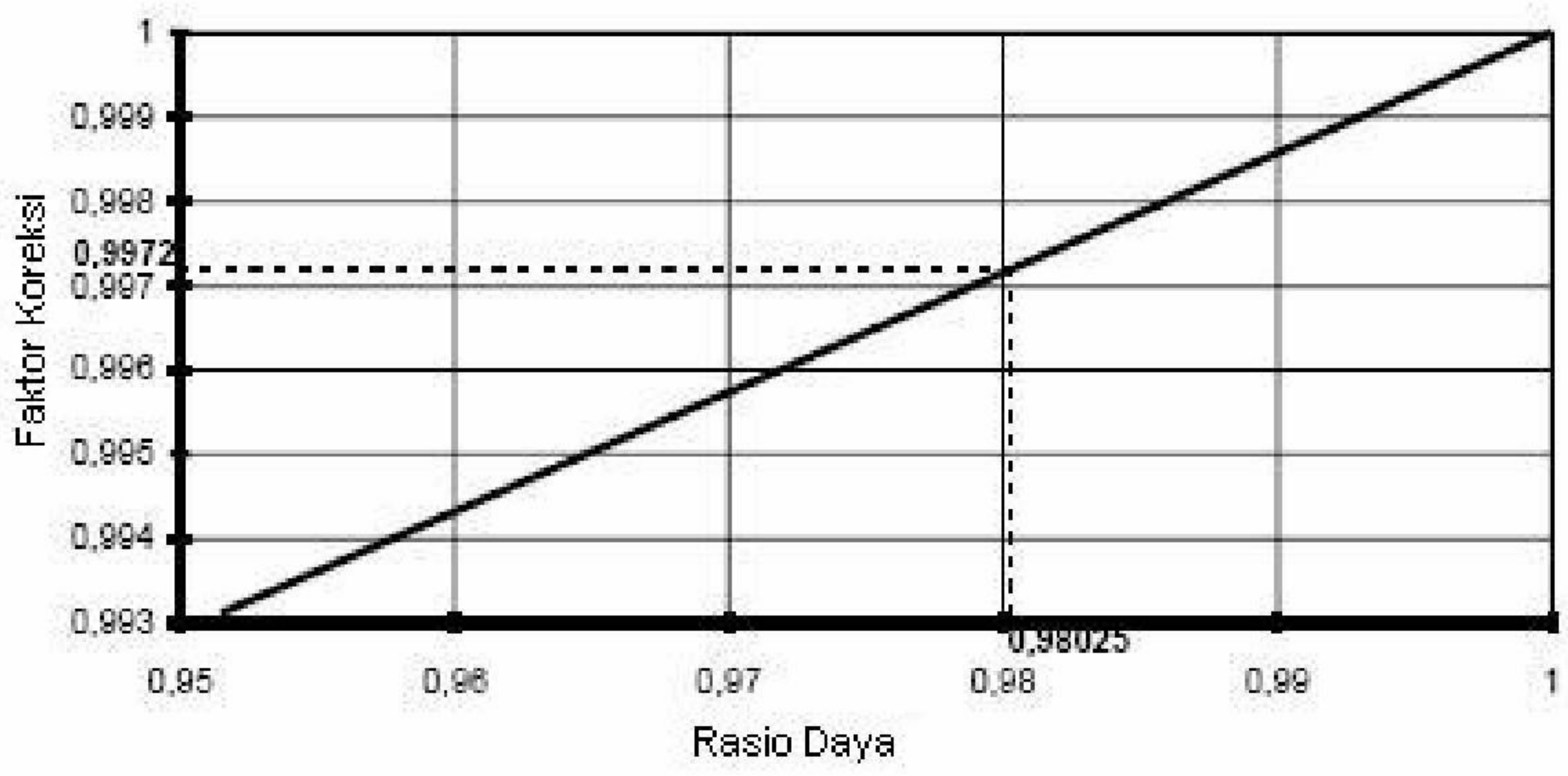
Tabel I.2.5 - Ringkasan koreksi

Parameter	Satuan	Nilai	Keterangan
Tara kalor yang diukur	kJ/kWh	10 761	Sebagaimana yang diukur
Faktor koreksi		0,997 60	Koreksi menurut Tabel I.2.4 akibat dari perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai-nilai kesetimbangan panas yang dihitung ulang pasca uji (lihat gambar I.2.11)
Tara kalor yang dikoreksi	kJ/kWh	10 735,4	
Faktor koreksi		0,989 69	Koreksi menurut tabel I.2.2 akibat perbedaan antara kesetimbangan panas yang digaransi (gambar I.2.10) dan yang dihitung ulang pasca uji (gambar I.2.11)
Tara kalor yang dikoreksi	kJ/kWh	10 625	
Tara kalor yang digaransi	kJ/kWh	10 625	Sesuai dengan gambar I.2.10



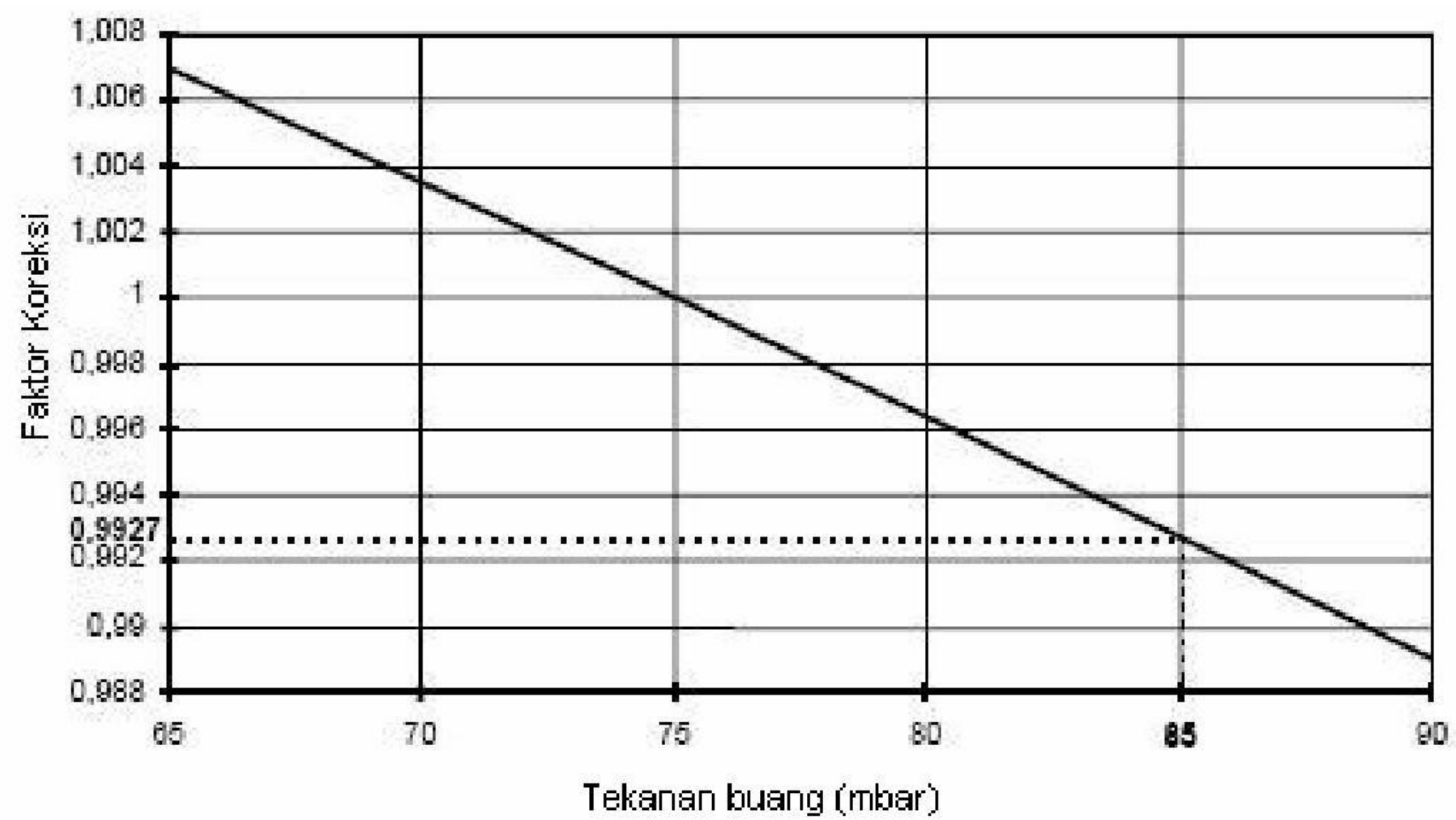
Daya Termal Konstan : 2.785 MW

Gambar I.2.1 – Kurva koreksi tara kalor akibat tekanan uap langsung



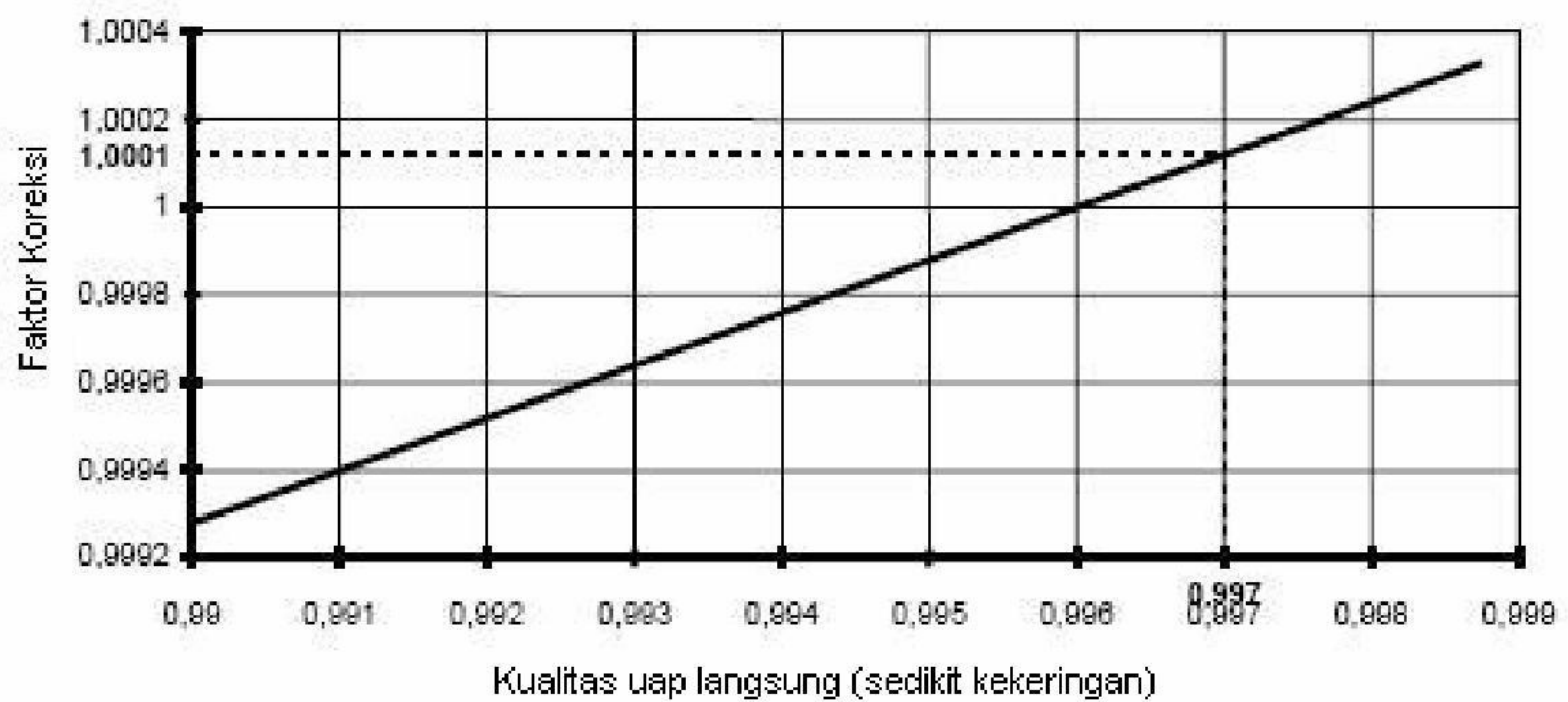
Daya Termal Nominal : 2.785 MW

Gambar I.2.2 – Kurva koreksi tara kalor akibat daya termal



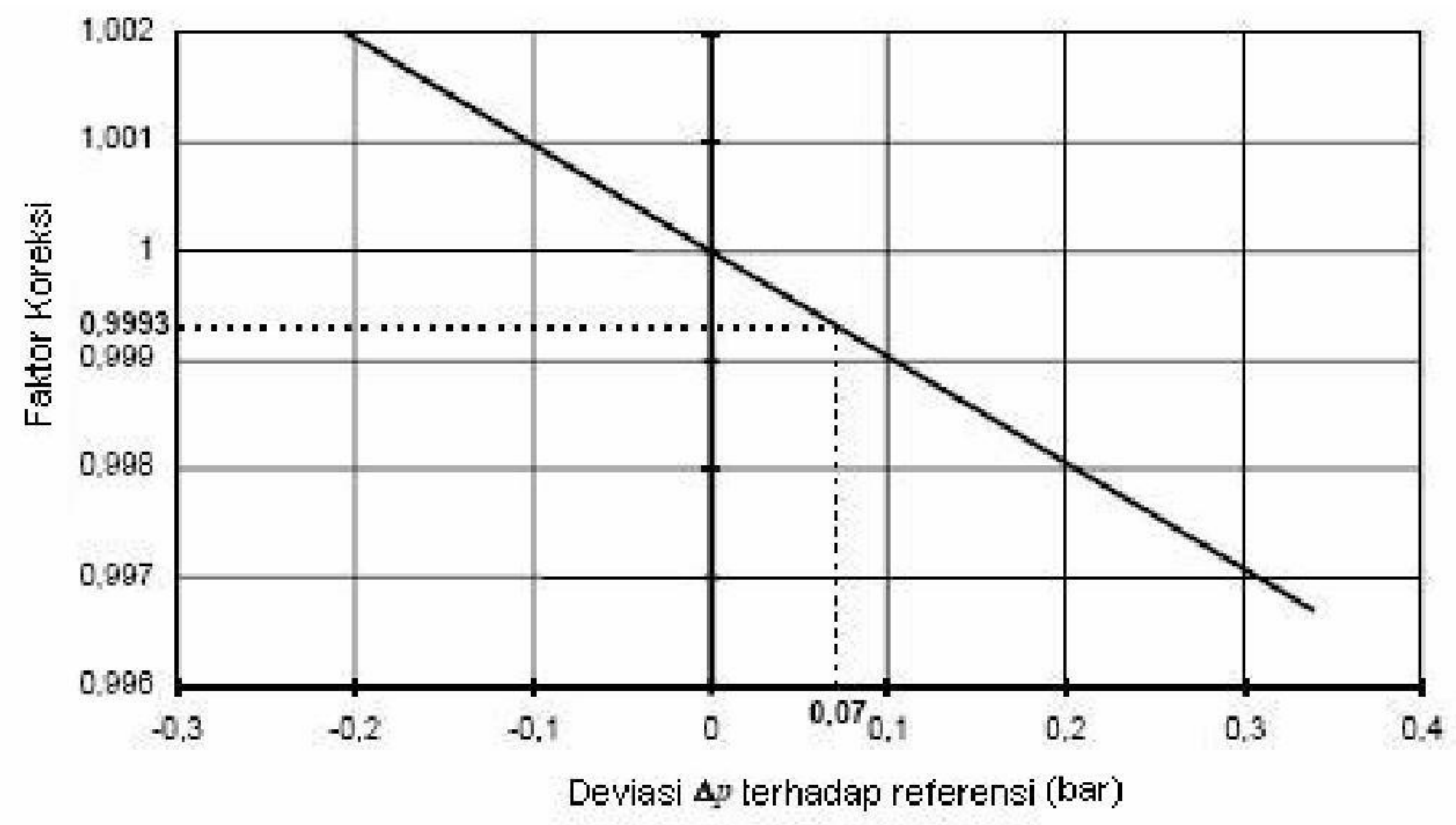
Daya Termal Konstan : 2.785 MW

Gambar I.2.3 – Kurva koreksi tara kalor akibat tekanan buang



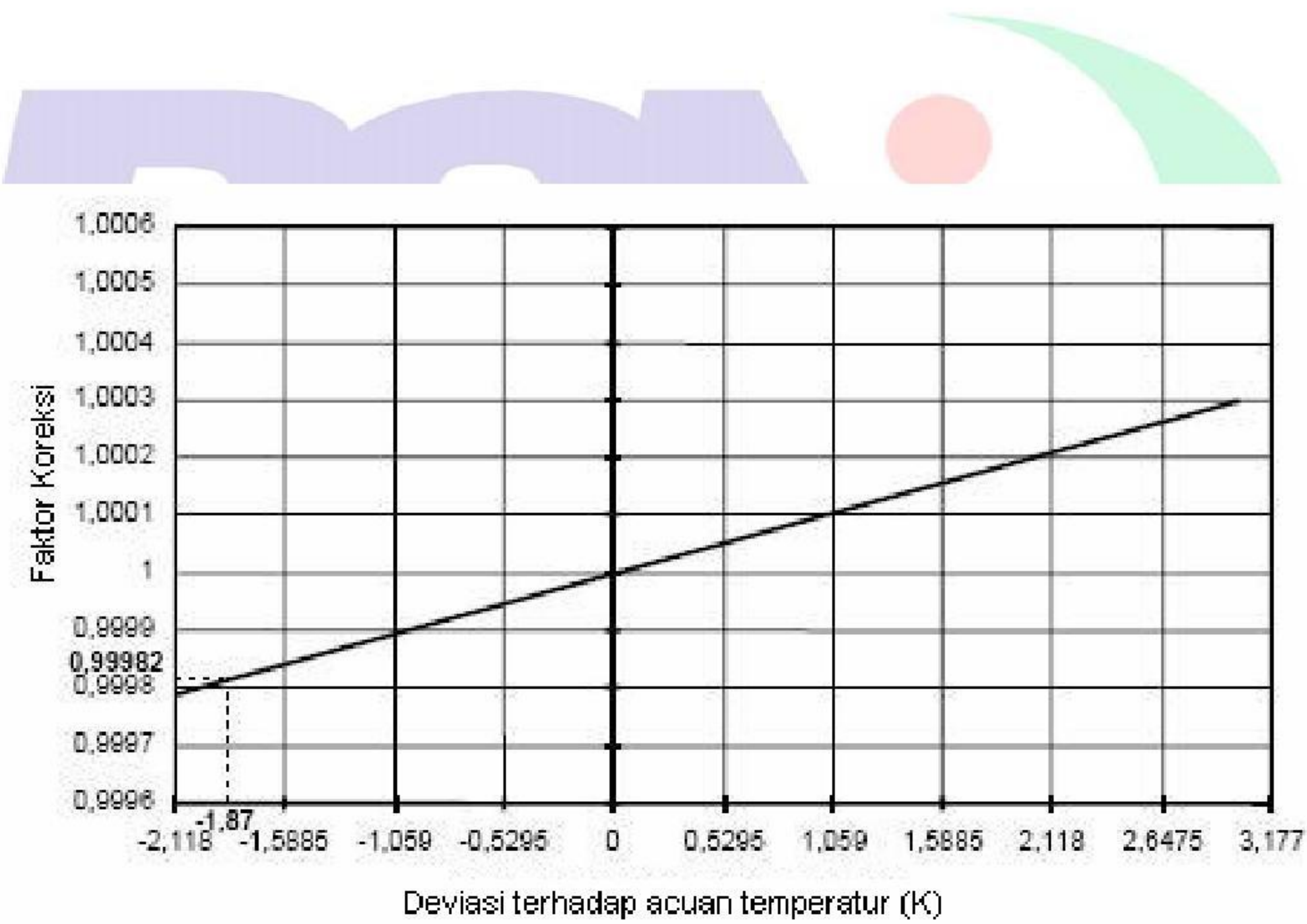
Daya Termal Konstan : 2.785 MW

Gambar I.2.4 – Kurva koreksi tara kalor akibat kualitas uap langsung



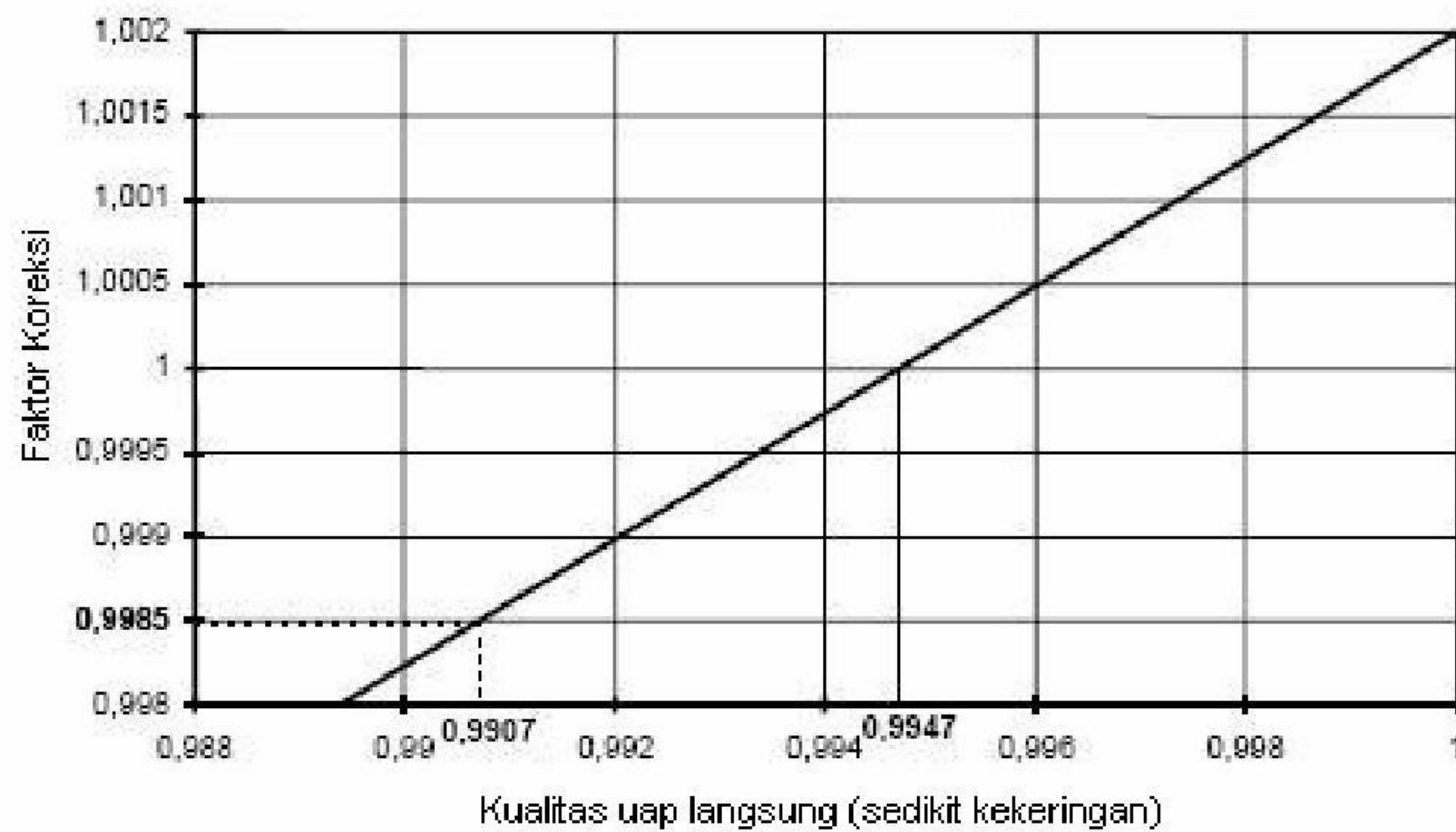
Daya Termal Konstan : 2.785 MW

Gambar I.2.5 – Kurva koreksi tara kalor untuk Δp separator embun/reheater



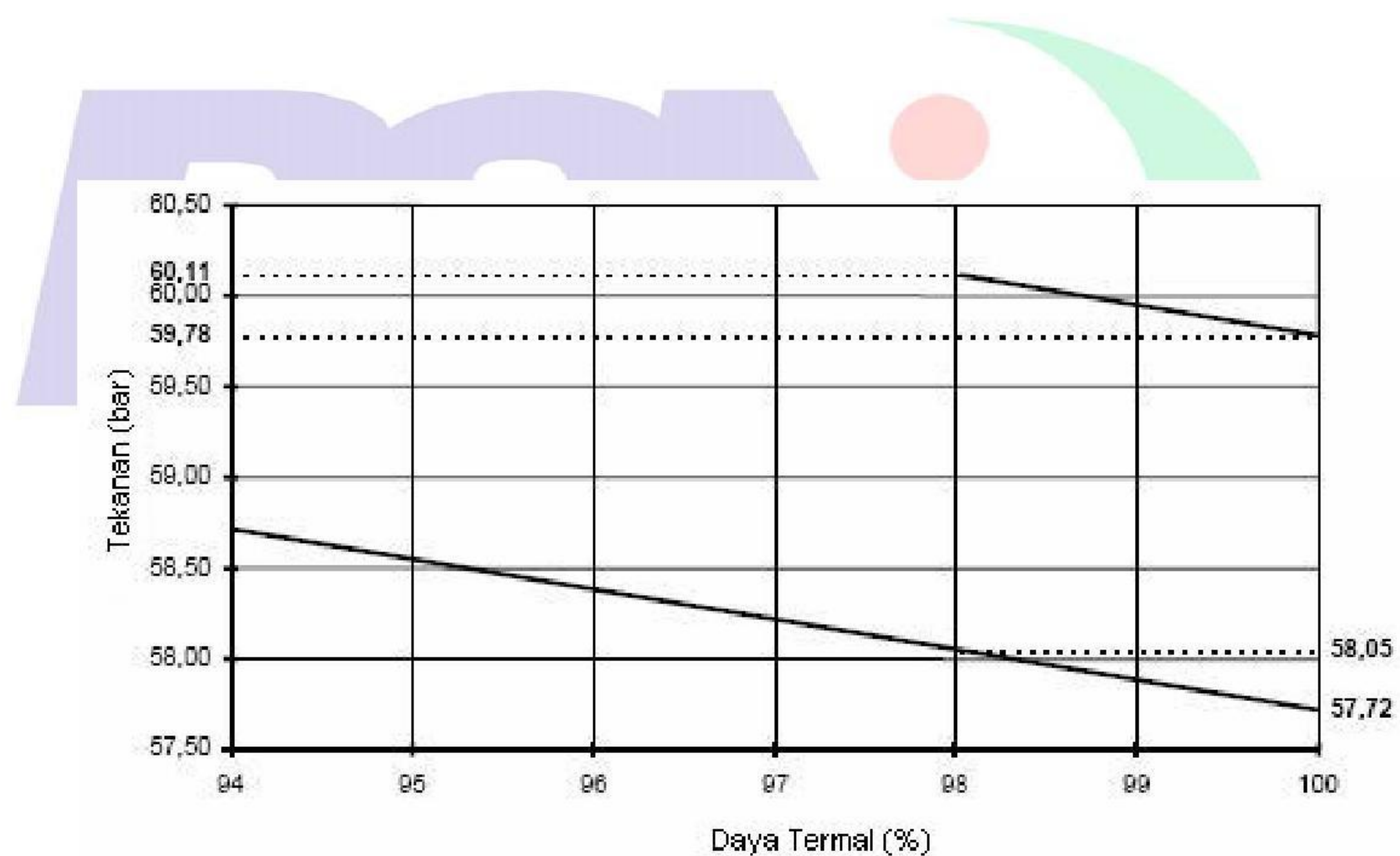
Daya Termal Konstan: 2.785 MW

Gambar I.2.6 – Kurva koreksi tara kalor akibat temperatur uap panas ulang



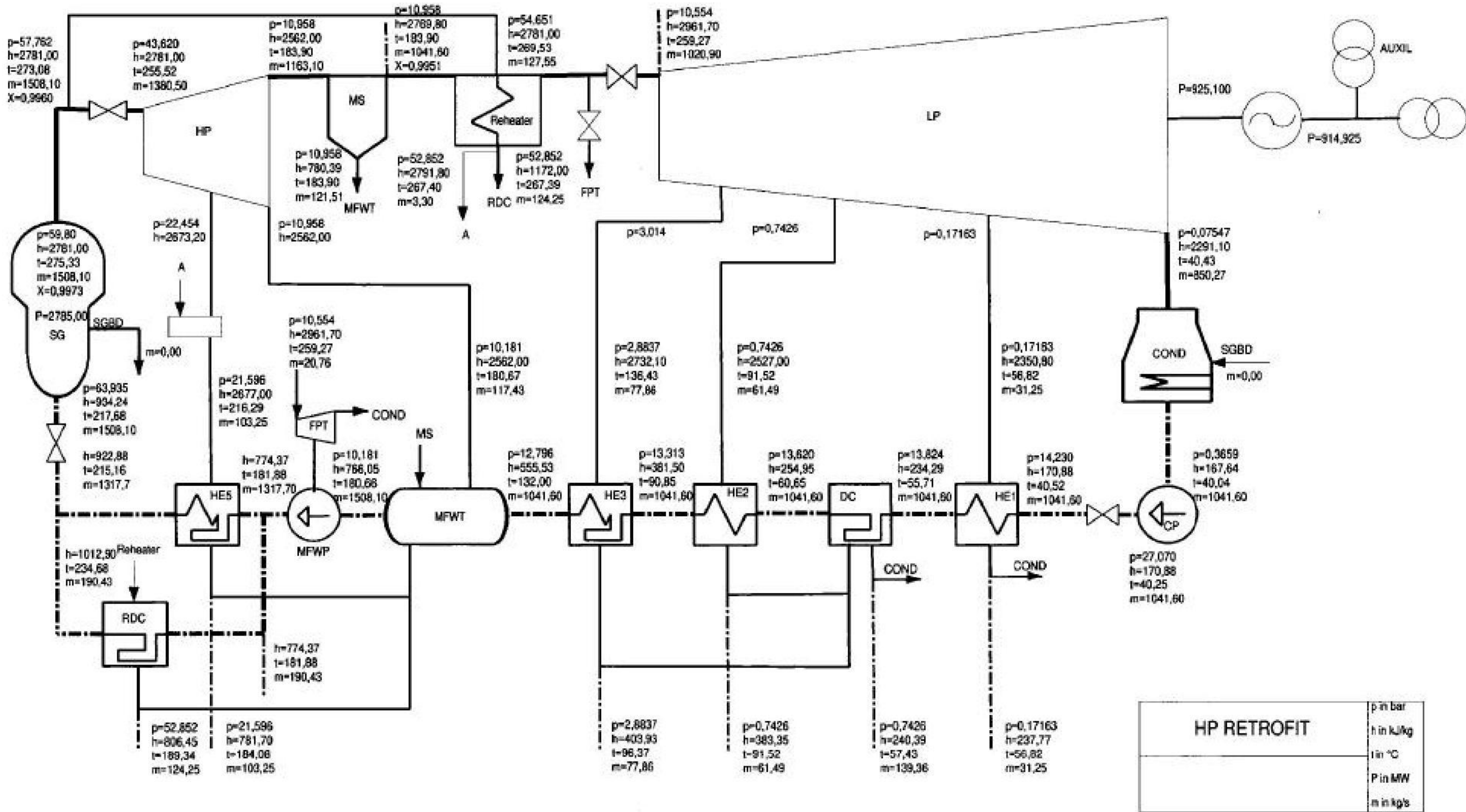
Daya Termal Konstan: 2.785 MW

Gambar I.2.7 – Kurva koreksi tara kalor akibat kualitas uap setelah pemisah embun

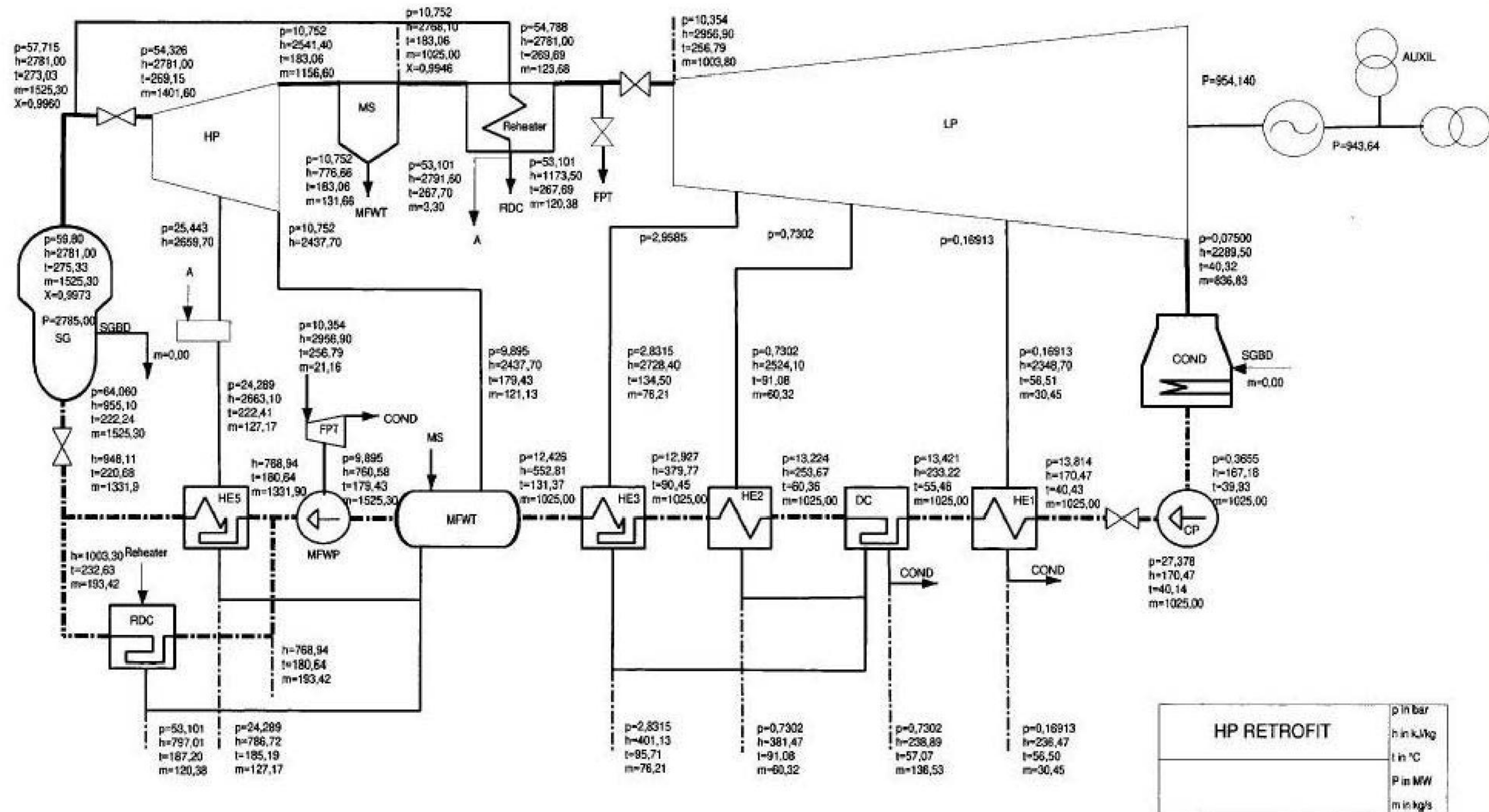


Daya Termal Nominal: 2.785 MW

Gambar I.2.8 – Kurva tekanan uap langsung sebelum katup turbin sebagai fungsi daya termal



Gambar I.2.9 – Garis dasar neraca kalor



Gambar I.2.10 – Garansi neraca kalor



52 dari 73

Lampiran J (Informatif)

Ketidakpastian perhitungan – contoh numerik (fosil dan nuklir)

J.0 Umum

Pada lampiran H, petunjuk teoritis diberikan, mengenai cara menentukan hasil pengukuran yang berubah-ubah. Sebagai klarifikasi, lampiran ini berkaitan dengan 2 (dua) contoh numerik – fosil dan nuklir. Nilai yang diperoleh dari hasil di bawah ini hanya uji kasus. Sangat penting untuk menilai setiap penerapan berdasarkan aturannya sendiri dan tidak mengambil nilai-nilai untuk petunjuk sebagai yang tipikal.

Nilai yang digunakan pada Tabel J.1 adalah nilai yang tipikal digunakan sebagai contoh. Pada keadaan yang sebenarnya, penyimpangan sistematis dan acak harus diperkirakan untuk pemakaian yang tertentu. Nilai yang diberikan melibatkan rantai pengukuran penuh.

Tabel J.1 – Ketidakpastian titik pengukuran total tipikal untuk tekanan dan temperatur

Parameter	Ketidakpastian		Keterangan
	Sistematis	Acak	
Tekanan	0.3 %	0.1 %	Tidak termasuk tekanan buang
Tekanan	0.9 %	0.3 %	Tekanan buang
Temperatur	0.3 %	0.1 %	> 100 °C
Temperatur	0.2 K	0.1 K	< 100 °C

Sadapan tekanan biasanya dipasang pada tempat yang memiliki profil kecepatan moderat yang lazim. Tekanan buang diukur pada pembuangan tekanan rendah dengan kecepatan yang cukup tinggi dan karena itu hasil pengukuran kurang akurat. Walaupun tekanan diukur pada berbagai lokasi dengan menggunakan pelat pengarah, nilai kesalahan sistematis dan acak yang lebih tinggi memungkinkan terjadi pada kondisi yang kurang seragam.

Kesalahan sistematis dan acak berbeda secara alami. Kesalahan sistematis menunjukkan perbedaan yang konstan antara nilai yang sebenarnya dan nilai yang diukur, sedangkan kesalahan acak memperhitungkan fluktuasi. Ketidakpastian dapat dikurangi dengan menggunakan pengukuran yang berulang (lihat rumus (H.10)).

Dalam keadaan retrofit yang menggaransi perbaikan, kesalahan sistematis menjadi kurang begitu penting.

Untuk penyederhanaan, gambar J.1 dan J.2 hanya menunjukkan lokasi instrumen dan bukan berbagai instrumentasi, sedangkan pada Tabel J.3 dan J.5 menunjukkan keduanya.

J.1 Studi kasus pembangkit fosil

Neraca kalor orisinil diambil sebagai dasar untuk memperoleh struktur dengan ruang lingkup instrumentasi yang diasumsikan. (lihat gambar J.1 dan Tabel J.3)

Ruang lingkup instrumentasi dianggap realistis untuk pembangkit fosil dari jenis ini dan sesuai dengan gambar 2 dari SR. Untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi beberapa pengukuran dilakukan 2 (dua) kali. Instrumentasi cukup untuk menentukan parameter berikut ini :

- Tara kalor yang dikoreksi
- Efisiensi isentropik HP
- Efisiensi isentropik IP
- Efisiensi isentropik LP

Catatan mengenai instrumentasi

a. Aliran

Untuk menentukan aliran air pengisi ke boiler, digunakan 2 (dua) gawai aliran standar yaitu nosel yang ditempatkan tepat di depan boiler dan orifis yang ditempatkan di depan tangki air pengisi. Aliran semprot pemanas ulang juga ditentukan dengan menggunakan orifis standar.

b. Temperatur

Temperatur air pengisi dari pemanas air pengisi HP dibuat ganda untuk meningkatkan ketelitian aliran ekstraksi (dari neraca kalor).

c. Tekanan

Tekanan buang secara khusus diukur delapan kali pada tiap selubung LP aliran ganda. Contoh berisi dua turbin LP aliran ganda, karena itu ke enam belas tekanan diukur dengan menggunakan pelat pengarah. Dengan kesepakatan, tekanan buang dapat juga ditentukan dengan menggunakan sadapan tekanan yang ada.

J.1.1 Evaluasi

Disarankan untuk menyusun kode komputer untuk evaluasi parameter yang akan dihitung. Sebagai uji kasus, neraca kalor pada gambar I.1.1 harus digunakan.

a) Langkah 1

Tentukan aliran air pengisi yang menuju ke boiler dengan menggunakan rumus (H.9) dan (H.10). Perhitungan ini membutuhkan *loop* mencakup pemanas air pengisi HP, pompa air pengisi dan tangki air pengisi. Untuk setiap *loop*, aliran ekstraksi ditentukan dan begitu juga aliran air pengisi yang dibobotkan. Iterasi dihentikan bila perbedaan antara perhitungan aliran yang berurutan kurang dari 0.005%.

b) Langkah 2

Karena kedua turbin IP dan turbin HP beroperasi pada daerah panas lanjut, beban poros dapat diperoleh secara langsung dari pengukuran temperatur dan tekanan. Beban internal LP diperoleh dari rumus (3) dari SR

c) Langkah 3

Dengan menggunakan rumus (4) dan (5), h_{UEEP} dapat ditentukan dan kemudian efisiensi isentropik LP juga dapat ditentukan. Setelah memeriksa perhitungan terhadap neraca kalor, faktor sensitivitas ditentukan dengan menggunakan rumus (H.13) dan Tabel (H.2). Untuk dapat memperoleh dua kasus maka hasil perhitungan yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam bentuk tabel (lihat Tabel J.3). Perhitungan mengasumsikan koreksi dari tara kalor (dari kurva koreksi) sesuai Gambar I.1.2 untuk uap kerja (p/t), uap panas ulang (t), penurunan tekanan pemanas ulang dan tekanan buang. Dua kasus berikut dapat dipertimbangkan untuk menjelaskan prosedur.

- Kasus 1

Ketidakpastian uji mutlak dengan kedua kesalahan sistematis dan acak yang terjadi diberikan pada Tabel J.2. Tabel ini memberikan hasil untuk tiga tingkat ketelitian yang berbeda (sistematis) dari pengukuran aliran (lihat rumus (H.17)).

Tabel J. 2 Persentase ketidakpastian hasil perhitungan pada tingkat ketidakpastian pengukuran aliran yang berbeda untuk pembangkit fosil

Parameter	Tiga tingkat ketidakpastian (sistematis) dari pengukuran aliran, dalam persen (seluruh $\varepsilon_i = 1$)		
	0.50	0.75	1.00
Tara kalor (terkoreksi)	0.55	0.70	0.86
Efisiensi isentropik HP	0.76	0.76	0.76
Efisiensi isentropik IP	0.25	0.25	0.25
Efisiensi isentropik LP	1.47	1.89	2.34

- Kasus 2

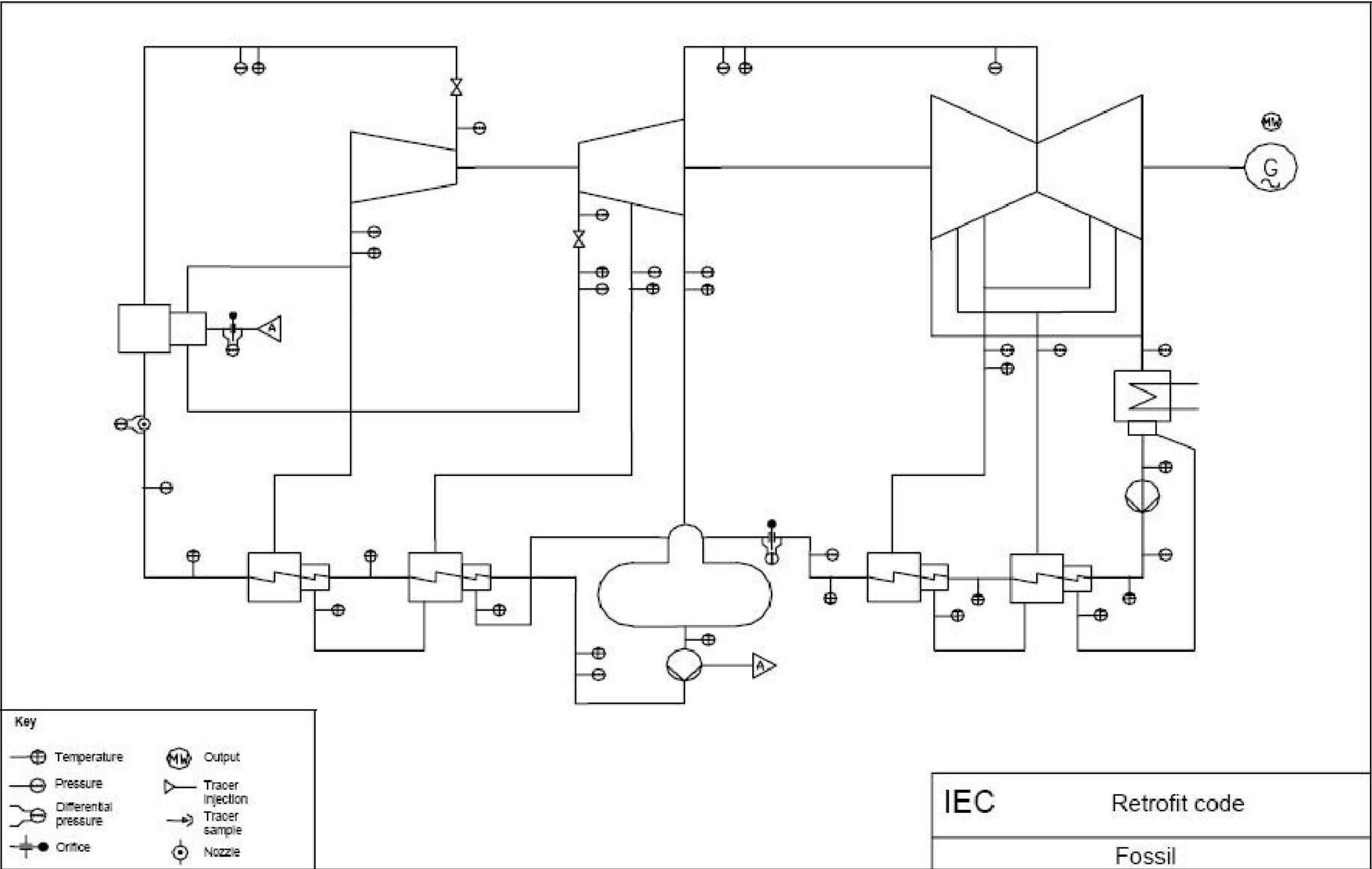
Ketidakpastian mutlak dari perbaikan antara dua uji dengan kesalahan sistematis tidak termasuk, sesuai dengan rumus H.18 :

Kasus ideal, semua $\varepsilon_i = 0$

Tara kalor (terkoreksi)	$\pm 0.129 \times \sqrt{2} = \pm 0.18\%$
Efisiensi isentropik HP	$\pm 0.240 \times \sqrt{2} = \pm 0.34\%$
Efisiensi isentropik IP	$\pm 0.078 \times \sqrt{2} = \pm 0.11\%$
Efisiensi isentropik LP	$\pm 0.376 \times \sqrt{2} = \pm 0.53\%$

Jika karena suatu alasan kesalahan sistematis dari setiap instrumen tidak tetap konstan antara uji pra dan pasca retrofit, maka nilai ε_i (antara 1 dan 0) dapat digunakan.

"Hak Cip



Gambar J.1 – Instrumentasi untuk pembangkit fosil

"tersilkan"

Tabel J.3 – Ketidakpastian pembangkit fosil

Contoh Parameter IEC untuk Pembangkit Berbahan Bakar Minyak Bumi																	
Kunci t = Temperatur x = Kualitas Uap p = Tekanan m = Kecepatan Aliran Massa P = Keluaran (output) Generator		[°C] [-] [bar] [kg/s] [kW]	Total Ketidakpastian Titik pengukuran			Laju Panas Terkoreksi			Tekanan Tinggi (ETA-Global)			Tekanan Sedang (ETA-Global)			Tekanan Rendah (ETA-Global)		
			Pengali	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak
Parameter			% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	
p	Live steam before MSV	2	0,3	0,1	0,0014	0,000	0,000	1.0436	0.221	0.074	0	0	0	0.3677	0.078	0.026	
p	Pembuangan turbin tekanan rendah	2	0,3	0,1	0,0408	0,009	0,003	0.9708	0.206	0.069	0	0	0	0.2214	0.047	0.016	
p	Live steam after MSV	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.002		
p	Setelah Pemanas	2	0,3	0,1	0,0666	0,014	0,005	0	0	0	0.4142	0.088	0.029	0.0676	0.014	0.005	
p	Ekstraksi ke-4 setelah turbin tekanan sedang	1	0,3	0,1	0,0003	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0.0070	0.002	0.001	
p	Ekstraksi ke-3 setelah turbin tekanan sedang	1	0,3	0,1	0,0002	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0.0045	0.001	0.000	
p	Pembuangan turbin tekanan sedang	2	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0.4193	0.089	0.03	0.0164	0.003	0.001	
p	Sebelum turbin tekanan rendah	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1733	0.052	0.017	
p	Ekstraksi ke-2 setelah turbin tekanan rendah	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0104	0.003	0.001	
p	Ekstraksi ke-1 setelah turbin tekanan rendah	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0032	0.001	0.000	
p	Pembuangan turbin tekanan rendah	16	0,9	0,3	0,0400	0,009	0,003	0	0	0	0	0	0	0.1435	0.032	0.011	
p	Kondensasi sebelum pemanas tekanan rendah	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0124	0.004	0.001	
p	Kondensasi setelah pemanas ke-2	1	0,3	0,1	0,0001	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0.0122	0.004	0.001	
p	Setelah Pompa feedwater	1	0,3	0,1	0,0025	0,001	0,000	0	0	0	0	0	0	0.0212	0.006	0.002	
p	Air penyulang setelah pemanas ke-5	1	0,3	0,1	0,0004	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0.0184	0.006	0.002	
t	Live steam before MSV	4	0,3	0,1	0,6764	0,101	0,034	3.4097	0.511	0.17	0	0	0	3.2145	0.482	0.161	
t	Setelah pemanas (heater)	4	0,3	0,1	0,5364	0,080	0,027	0	0	0	0.7677	0.115	0.038	1.1998	0.180	0.060	
t	Cold reheat after HP turbine	4	0,3	0,1	0,3050	0,046	0,015	2.6994	0.405	0.135	0	0	0	1.9036	0.286	0.095	
t	Ekstraksi ke-4 setelah turbin tekanan sedang	1	0,3	0,1	0,0117	0,004	0,001	0	0	0	0	0	0	0.0789	0.024	0.008	
t	Ekstraksi ke-3 setelah turbin tekanan sedang	1	0,3	0,1	0,0078	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0.0534	0.016	0.005	
t	Pembuangan tekanan sedang	4	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	1.0577	0.159	0.053	0.5032	0.075	0.025	
t	Ekstraksi ke-2 setelah turbin tekanan rendah	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0256	0.008	0.003	
t	Setelah pompa kondenser	1	0,61	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0205	0.012	0.006	

Contoh Parameter IEC untuk Pembangkit Berbahan Bakar Minyak Bumi																	
Kunci t = Temperatur x = Kualitas Uap p = Tekanan m = Kecepatan Aliran Massa P = Keluaran (output) Generator Parameter		[°C] [-] [bar] [kg/s] [kW]	Total Ketidakpastian Titik pengukuran			Laju Panas Terkoreksi			Tekanan Tinggi (ETA-Global)			Tekanan Sedang (ETA-Global)			Tekanan Rendah (ETA-Global)		
			Pengali	Sistematis	Acak	Sensitivitas	Sistematis	Acak	Sensitivitas	Sistematis	Acak	Sensitivitas	Sistematis	Acak	Sensitivitas	Sistematis	Acak
			% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	
t	Saluran setelah pemanas ke-1	1	0,53	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0022	0.001	0.001
t	Kondensasi setelah pemanas ke-1	1	0,31	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0472	0.014	0.007
t	Kondensasi setelah pemanas ke-2	1	0,3	0,1	0,0788	0,024	0,008	0	0	0	0	0	0	0	0.1307	0.039	0.013
t	Saluran setelah pemanas ke-2	1	0,29	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0057	0.002	0.001
t	Setelah daerator sebelum FWP	2	0,3	0,1	0,1509	0,032	0,011	0	0	0	0	0	0	0	0.0540	0.011	0.004
t	Setelah FWP sebelum pemanas ke-4	2	0,3	0,1	0,1342	0,028	0,009	0	0	0	0	0	0	0	0.1314	0.028	0.009
t	Air penyulang setelah pemanas ke-4	2	0,3	0,1	0,0483	0,010	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0.2381	0.051	0.017
t	Saluran setelah pemanas ke-4	1	0,3	0,1	0,0029	0,001	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0.0156	0.005	0.002
t	Air Penyulangsetelah pemanas ke-5	2	0,3	0,1	0,2530	0,054	0,018	0	0	0	0	0	0	0	0.4938	0.105	0.035
t	Saluran setelah pemanas ke-5	1	0,3	0,1	0,0054	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0.0081	0.002	0.001
m	Aliran Air Penyulangutama ke boiler 1)	1	0,85	0,15	0,5454	0,464	0,082	0	0	0	0	0	0	0	1.5889	1.351	0.238
m	Kondensasi sebelum daerator ¹⁾	1	0,85	0,15	0,4546	0,386	0,068	0	0	0	0	0	0	0	1.1732	0.997	0.176
m	Aliran penyemprot Reheater (tertutup)	1	0,75	0,15	0,0264	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0.0074	0.000	0.000
P	Daya output generator	1	0,2	0,05	10,001	0,200	0,050	0	0	0	0	0	0	0	2.1196	0.424	0.106
	Cycle Isolation	1	0,2	0,01	10,000	0,200	0,010	0	0	0	0	0	0	0	1.0000	0.200	0.010
Total Jumlah Akar Kuadrat Overall Uncertainty (root-square sum of systematic and random)					rel %	0.6585	0.0129		0.719	0.24		0.233	0.078		1.849	0.376	
					rel %	0.697			0.758			0.245					
¹⁾ Kebocoran yang tidak diperhitungkan ditemukan antara 0.2%.50% diperoleh (0,5 x 0,2 = 0,%) ditambahkan secara aritmatik ke ketidak-beraturan aliran utama berdasarkan 7.4.3 pada RS																	
Note Pengaruh kesalahan dalam kurva koreksi tidak dipertimbangkan. Bagaimanapun, nilainya dapat diabaikan																	

J.2 Studi kasus pembangkit nuklir

Sama halnya dengan pembangkit fosil, neraca kalor orisinil diambil sebagai dasar untuk memperoleh struktur dengan ruang lingkup instrumentasi yang diasumsikan (lihat gambar J.2 dan Tabel J.5). Instrumentasi sesuai dengan gambar 3 pada SA dan telah dipilih untuk memungkinkan penentuan parameter berikut:

- Tara kalor terkoreksi
- Efisiensi isentropik HP
- Efisiensi isentropik LP

Catatan mengenai instrumentasi :

a) Aliran

Aliran air pengisi ditentukan oleh tiga orifis yang berada pada saluran paralel sebelum reaktor. Untuk menentukan air kuras dari pemanas LP dan aliran uap menuju turbin pompa air pengisi, dipasang orifis standar. Semua aliran yang dibutuhkan ditentukan dengan menggunakan teknik penelusur. (lihat 4.7.2 dari SR) :

- air kuras dari pemanas HP;
- air kuras dari pemisah embun;
- air kuras dari pemanas lanjut
- fraksi air pada saluran ekstraksi ke-4 yang menuju daerator.

b) Temperatur

Untuk meningkatkan ketelitian, pengukuran temperatur dibuat ganda sebelum sisi masuk turbin LP.

c) Tekanan

Tekanan buang secara khusus diukur delapan kali pada tiap selubung LP aliran ganda. Contoh berisi dua turbin LP aliran ganda, karena itu ke enam belas tekanan diukur dengan menggunakan pelat pengarah. Dengan kesepakatan, tekanan buang dapat juga ditentukan dengan menggunakan sadapan tekanan yang ada.

J.2.1 Evaluasi

Sama halnya dengan siklus pembangkit fosil, disarankan untuk menyusun kode komputer untuk evaluasi parameter yang akan dihitung. Sebagai uji kasus, neraca kalor pada gambar I.2.9 harus digunakan.

a) Langkah 1

Dengan mempertimbangkan *loop* iterasi sekitar deaerator, maka dapat ditentukan aliran uap ekstraksi dan aliran kondensat yang menuju deaerator. Konvergensi dicapai bila perbedaan antara dua harga berurutan dari aliran kondensat kurang dari 0.005%.

b) Langkah 2

Untuk menentukan efisiensi HP dan beban internal, mulai perhitungan kualitas uap pada buangan HP dengan menerapkan neraca energi disekitar pemisah embun dan pemanas lanjut. Karena aliran uap pada buangan HP diketahui, maka kualitas uap dapat ditentukan dengan mudah.

c) Langkah 3

Dengan menggunakan rumus (4) dan (5), h_{UEEP} dapat ditentukan dan kemudian efisiensi isentropik LP juga dapat ditentukan. Setelah memeriksa perhitungan terhadap neraca kalor, faktor sensitivitas ditentukan dengan menggunakan rumus (H.13) dan Tabel (H.2). Untuk dapat memperoleh dua kasus maka hasil perhitungan yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam bentuk tabel (lihat Tabel J.5). Koreksi asumsi perhitungan dari tara kalor (dari kurva koreksi) berdasarkan gambar I.2.1 – I.2.9. Dua kasus digunakan untuk menggambarkan prosedur tersebut.

- Kasus 1

Ketidakpastian dari uji mutlak dengan kesalahan sistematis dan acak yang diberikan pada Tabel J.4

Tabel J.4 – Persentase ketidakpastian dari hasil hasil perhitungan pada tingkat ketidakpastian pengukuran aliran yang berbeda untuk pembangkit nuklir.

Parameter	Tiga tingkat ketidakpastian sistematis dari pengukuran aliran dalam persen, seluruh $\varepsilon_i = 1$		
	Orifis : 0.5 Penelusur : 0.3	Orifis : 0.75 Penelusur : 0.55	Orifis : 1.00 Penelusur : 0.80
Tara kalor (terkoreksi)	0.53	0.67	0.83
Efisiensi isentropik HP	1.07	1.34	1.64
Efisiensi isentropik LP	1.04	1.08	1.13

- Kasus 2

Ketidakpastian mutlak dari perbaikan antara dua uji dengan kesalahan sistematis tidak termasuk, sesuai dengan rumus H.18 :

Kasus ideal, seluruh $\varepsilon_i = 0$

Tara kalor (terkoreksi)

$$\pm 0.122 \times \sqrt{2} = \pm 0.17\%$$

Efisiensi isentropik HP

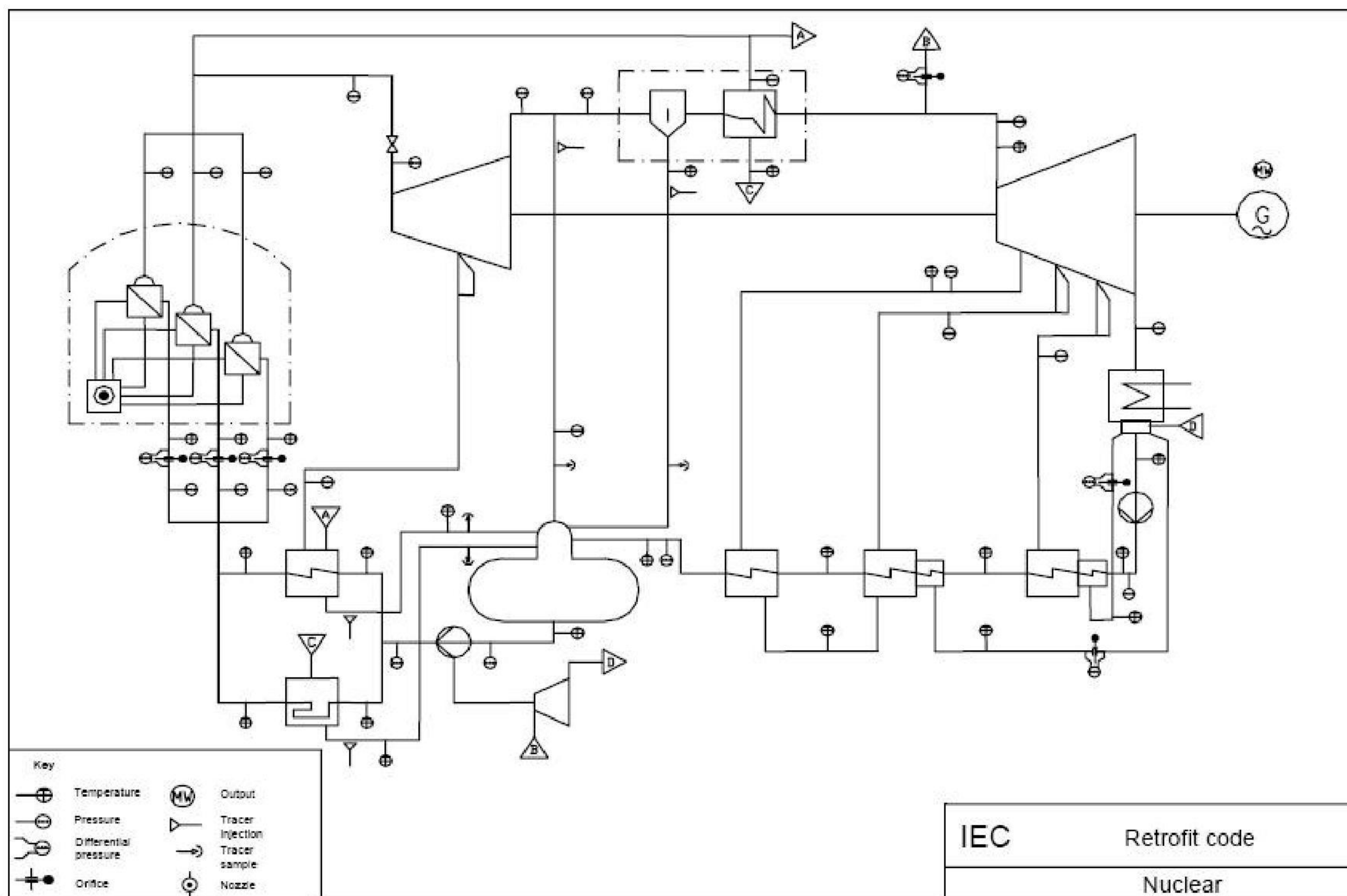
$$\pm 0.284 \times \sqrt{2} = \pm 0.40\%$$

Efisiensi isentropik LP

$$\pm 0.315 \times \sqrt{2} = \pm 0.45\%$$

Jika karena suatu alasan kesalahan sistematis dari setiap instrumen tidak tetap konstan antara uji pra dan pasca retrofit, maka nilai ε_i (antara 1 dan 0) dapat digunakan.

"Hak Cip"



Gambar J.2 – Instrumentasi untuk pembangkit nuklir

"merekkan"

Tabel J.5 – Ketidakpastian pembangkit nuklir

Contoh Parameter IEC untuk Pembangkit Berbahan Bakar Nuklir															
Kunci t = Temperatur x = Kandungan Uap p = Tekanan m = Kecepatan Aliran Massa P = Keluaran Generator		Parameter	[°C] [-] [bar] [kg/s] [kW]	Total Ketidakpastian Titik pengukuran			Laju Panas Terkoreksi			Tekanan Tinggi (ETA-Global)			Tekanan Rendah (ETA-Global)		
				Pengali	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak	Sensitivitas	Sistematik	Acak
				% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±	% ±
p	Uap setelah reaktor			3	0.3	0.1	0.0343	0.006	0.002	0.2535	0.044	0.015	0.1463	0.025	0.008
p	Uap sebelum turbin Tekanan Tinggi (TKT)			2	0.3	0.1	0.0092	0.002	0.001	0	0	0	0.0000	0	0
p	Sebelum reaksi blading			2	0.3	0.1	0	0	0	0.6446	0	0	0.0023	0	0
p	Pembuangan Tekanan Tinggi (TKT)			2	0.3	0.1	0	0	0	1	0.145	0.048	0.0002	0.000	0
p	Sebelum pemisah embun			2	0.3	0.1	0.1081	0.023	0.008	0.0020	0	0	1.4713	0.312	0.104
p	Uap kerja sebelum pemanas ulang (reheater)			2	0.3	0.1	0	0	0	0.0009	0	0	0.0005	0	0
p	Inlet turbin Tekanan Rendah (TKR)			2	0.3	0.1	0.091	0.019	0.006	0.1372	0.029	0	0.2002	0.042	0.014
p	Pembuangan turbin Tekanan Rendah (TKR)			16	0.9	0.3	0.0549	0.012	0.004	0	0	0	0.1448	0.033	0
p	Extr 5			2	0.3	0.1	0	0	0	0.9565	0.203	0.068	0.4570	0.097	0
p	Extr 4			2	0.3	0.1	0.0001	0	0	0.0265	0.006	0.002	0.0109	0.002	0
p	Extr 3			2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	2.0302	0.431	0
p	Extr 2			2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0
p	Extr 1			2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0
p	Setelah pipa kondensasi			2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.0022	0	0
p	Kondensasi sebelum daerator			2	0.3	0.1	0	0	0	0.0003	0	0	0.0014	0	0
t	Kondensasi sebelum FWP			2	0.3	0.1	0	0	0	0.0000	0.000	0.001	0.0000	0	0
t	Feedwater setelah FWP			2	0.3	0.1	0	0	0	0.0007	0	0	0.0081	0.002	0.001
t	Feedwater akhir			3	0.3	0.1	0.0012	0	0	0.0112	0.002	0.001	0.0005	0	0
x	Kualitas uap yang ada pada saluran			3	0.1	0.1	1.0554	0.061	0.006	7.1940	0.415	0.042	4.0899	0.236	0
t	Pemisah embun kering (Drain moisture separator)			2	0.3	0.1	0.0014	0	0	0.3507	0.074	0.025	0.1468	0.031	0
t	Pemanas ulang kering (Drain Reheater)			2	0.3	0.1	0.0316	0.007	0.002	0.6156	0.131	0.044	0.1109	0.024	0.008
t	Inlet turbin Tekanan Rendah (TKR)			2	0.3	0.1	0.1360	0.029	0.01	2.1423	0.454	0.151	0.5551	0.118	0.039
t	Extr 3			2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

t	Hotwell (Sumur panas)	2	0.5	0.25	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	
t	Setelah pompa kondensasi	2	0.49	0.25	0	0	0	0	0	0	0.3034	0.105	0.053	
t	Kondensasi setelah pemanas 1	2	0.36	0.18	0	0	0	0	0	0	0.4155	0.105	0.053	
t	Kondensasi setelah pemanas 2	2	0.22	0.11	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	
t	Kondensasi sebelum daerator	2	0.3	0.1	0.0094	0.002	0.001	0.1700	0.036	0.012	0.9358	0.199	0.066	
t	Pemanas kering (Drain Heater) 1	2	0.35	0.18	0	0	0	0	0	0	0.0126	0.003	0.002	
t	Pemanas kering (Drain Heater) 2	2	0.35	0.17	0	0	0	0	0	0	0.0561	0.014	0.007	
t	Pemanas kering (Drain Heater) 3	2	0.35	0.1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	
t	Kondensasi sebelum FWP	2	0.21	0.1	0.0199	0.004	0.001	0.3714	0.079	0.026	0.1074	0.023	0.008	
t	Feedwater sebelum pemanas 5	2	0.3	0.1	0	0	0	0.0020	0	0	1.7953	0.381	0.127	
t	Feedwater sebelum pemanas air	2	0.3	0.1	0	0	0	0.0009	0	0	1.8732	0.397	0.132	
t	Feedwater setelah pemanas 5	2	0.3	0.1	0	0	0	0.0010	0	0	1.2018	0.255	0.085	
t	Feedwater setelah pemanas air	4	0.3	0.1	0	0	0	0.0092	0.001	0	0.2083	0	0.010	
t	Pemanas kering 5	2	0.3	0.1	0.0014	0	0	0.0189	0.004	0.001	0.1361	0.029	0.010	
t	Pemanas air kering	4	0.3	0.1	0.0017	0	0	0.0223	0.003	0.001	0.0992	0.015	0.005	
t	Akhir Feedwater	3	0.3	0.1	0.6149	0.106	0.035	0	0	0	0.0000	0	0	
m	Boiler blow down (tertutup)	1	0.75	0.15	0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	
m	Uap pemebersih	2	0.75	0.15	0	0	0	0.0002	0	0	0.0000	0	0	
m	Pemisah embun kering (Drain moisture separator)	2	0.55	0.15	0.0034	0.001	0	0.8653	0.337	0.092	0.3616	0.141	0.038	
m	Uap menuju FWPT	2	0.75	0.15	0	0	0	0	0	0	0.0243	0.013	0.003	
m	Pemanas kering 1	2	0.75	0.15	0	0	0	0	0	0	0.1085	0.058	0.012	
m	Pemanas kering 2	2	0.75	0.15	0	0	0	0	0	0	0.4780	0.254	0.051	
m	Pemanas kering 5	2	0.55	0.15	0.0033	0.001	0	0.1502	0.058	0.016	0.3482	0.135	0.037	
m	Pemanas air kering	4	0.55	0.15	0.0412	0.011	0.003	0.9143	0.251	0.069	0.3802	0.105	0.029	
m	Aliran feedwter akhir ¹⁾	3	0.85	0.15	1.1921	0.585	0.103	2.0517	1.007	0.178	0.1002	0.049	0.009	
m	Air di extr 4	2	0.55	0.15	0.0006	0	0	0.1502	0.058	0.016	0.0628	0.024	0.007	
P	Output Generator	1	0.2	0.05	0.9965	0.199	0.05	0	0	0	1.6078	0.322	0.08	
	Isolasi putaran (cyle isolation)	1	0.2	0.01	1.0000	0,200	0.1	1.0000	0.200	0.01	1.0000	0.2	0.01	
	Total Jumlah Akar Kuadrat				rel %	0.663	0.122				1.308	0.284	1.031	0.315
	Overall Uncertainty				rel %	0.674					1.399		1.078	
	(root-square sum of systematic and random)				1.078									
¹⁾ Kebocoran yang tidak diperhitungkan ditemukan antara 0.2%.50% diperoleh (0,5 x 0,2 = 0,%) ditambahkan secara aritmatik ke ketidak-beraturan aliran utama berdasarkan 7.4.3 pada RS														
Note Pengaruh kesalahan dalam kurva koreksi tidak dipertimbangkan. Bagaimanapun, nilainya dapat diabaikan														

Lampiran K (Normatif)

Teknik penelusur – aplikasi retrofit

Untuk tujuan verifikasi garansi, adalah penting untuk mengukur aliran tertentu dengan ketelitian yang tinggi. Bila gawai aliran yang ada tidak memenuhi persyaratan, direkomendasikan metode penelusur dengan injeksi laju konstan (lihat 4.7 dari SA)

K.1 Metode

Metode pengukuran pada dasarnya adalah pengukuran keenceran (*dilution*) dengan menggunakan penelusur radioaktif atau non radioaktif. Parameter siklus uap/air pada pembangkit berbahan bakar nuklir demikian juga fosil yang menjadi sasaran teknik ini meliputi : kebasahan uap kerja, aliran kuras HP dan LP, kebasahan buangan HP, aliran massa/kebasahan ekstraksi, kebasahan residual sisi hilir dari separator embun (terangkut) atau efisiensi pemisahan dari separator embun, beban air pada saluran dua fase dan aliran massa kebocoran.

Sebagai alternatif gawai pencekik, metode injeksi laju-konstan dapat digunakan untuk pengukuran presisi dari aliran massa air (cairan) fase tunggal. Dengan menggunakan penelusur radioaktif, dapat dicapai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 0,2\%$. Sebuah perbandingan membuktikan bahwa hasil dari pengukuran penelusur dan dengan hasil yang diperoleh dari gawai pencekik yang dikalibrasi adalah mendekati.

Dalam metode penelusur, penelusur dilarutkan dalam air dan diinjeksikan dalam conduit dengan laju aliran massa konstan. Aliran massa air dalam conduit air mengencerkan konsentrasi penelusur, pencampuran akan selesai setelah mencapai jarak pencampuran yang cukup. Konsentrasi penelusur yang baru tersebut kemudian ditentukan dari contoh air. Pada kasus contoh sederhana ini, sebuah kesetimbangan penelusur memberikan laju aliran air yang diperlukan dari aliran fase ganda atau fase tunggal di dalam conduit.

$$\dot{m}_{inj} \times c_{inj} = (\dot{m} + \dot{m}_{inj}) \times c_{wat} \quad (K.1)$$

atau

$$\dot{m}_{inj} = \dot{m} \times \left(\frac{c_{inj}}{c_{wat}} - 1 \right) \quad (K.2)$$

dengan

\dot{m} = aliran air di dalam conduit sebelum injeksi

\dot{m}_{inj} = aliran massa injeksi

c_{inj} = konsentrasi larutan penelusur yang diinjeksikan

c_{wat} = adalah konsentrasi dari contoh setelah dicampur

Untuk aliran fase ganda, dipersyaratkan untuk persamaan K.1 bahwa penelusur harus terkandung di dalam cairan tetapi tidak di dalam uap.

Persamaan K.2 tidak lengkap untuk penggunaan praktis, karena bahkan sisi hulu dari bagian injeksi aliran massa air biasanya mempunyai suatu konsentrasi latar belakang penelusur tertentu. Aktivitas latar belakang ambien juga harus diperhitungkan. Hal ini mengarah ke

persamaan lengkap untuk suatu perhitungan sederhana dari aliran massa air yang menggunakan penelusur radioaktif menjadi :

$$m_{inj} \times (c_{inj} - c_{ABGinj}) + m \times (c_{BG} - c_{ABG,BG}) = (m + m_{inj}) \times (c_{wat} - c_{ABG,wat})$$

atau

$$m = m_{inj} \left(\frac{c_{inj} - c_{ABGinj} - c_{wat} + c_{ABG,wat}}{c_{wat} - c_{ABG} - c_{BG} + c_{ABG,BG}} \right) \quad (K3)$$

dengan :

m	adalah aliran air dalam saluran sebelum injeksi;
m_{inj}	adalah aliran massa injeksi dari larutan penelusur;
c_{inj}	adalah konsentrasi larutan penelusur yang diinjeksikan;
$c_{ABG, inj}$	adalah konsentrasi latar belakang ambien dari larutan penelusur;
c_{BG}	adalah konsentrasi latar belakang dalam saluran;
c_{ABGBG}	adalah konsentrasi latar belakang ambien pada aktivitas dalam saluran;
c_{wat}	adalah konsentrasi contoh setelah pencampuran;
$c_{ABG,wat}$	adalah konsentrasi latar belakang ambien dari contoh.

Persamaan K.3 menyatakan bahwa aliran massa air dapat dihitung dari satu pengukuran aliran massa dan serangkaian konsentrasi.

Parameter yang relevan dari persamaan K.3 untuk mengukur ketidakpastian adalah : m_{inj} , c_{inj} , dan c_{wat} .

Parameter lain adalah tidak penting. Namun hal ini hanya berlaku untuk mengukur ketidakpastian, tetapi tidak untuk penentuan nilai mutlak.

Aliran masa $Ninj$ biasanya diinjeksikan secara terus menerus dan diukur dengan menggunakan orifis yang telah dikalibrasi yang dikalibrasi sebelum masing-masing pengujian. Orifis harus digunakan hanya dalam julat kalibrasinya. Dengan demikian, ketidakpastian pengukuran untuk $minj$ biasanya sekitar $\pm 0,1$ %.

K.2 Ketelitian

Untuk penelusur baik radioaktif maupun non-radioaktif, ketidakpastian akan berada dalam julat sebesar 0,2% – 1,0%. Ketidakpastian pengukuran aliran massa dari 0,5% - 1,0 % dapat dicapai termasuk semua akibatnya, dengan sebuah perlengkapan ukur tingkat sedang. Dengan penambahan pengeluaran, dapat dicapai ketidakpastian pengukuran sebesar 0,2 %.

Jadi ketidakpastian akan sama atau lebih baik dari pengukuran orifis yang tidak dikalibrasi.

K.3 Kondisi instalasi

Dua kelompok penelusur dapat digunakan pada pusat pembangkit :

- penelusur radioaktif;
- penelusur non-radioaktif.

Penelusur ini harus :

- mudah larut dalam air ;
- sesuai dengan pembangkit yang ada ;
- tidak berbahaya bagi personel yang melakukan pengukuran ;
- dapat dideteksi dengan mudah ;
- dimasukkan hanya dalam cairan dan tidak dalam uap ;
- tidak terlalu mahal.

Penelusur radioaktif mempunyai keuntungan memiliki resolusi yang jauh lebih tinggi daripada penelusur non-radioaktif, yaitu membutuhkan jumlah penelusur yang jauh lebih sedikit untuk suatu pengukuran. Sebaliknya, penelusur non-radioaktif tidak memerlukan otorisasi administratif untuk transportasi dan penanganan. Setiap kasus khusus harus memutuskan penelusur yang akan digunakan.

Pada prakteknya penginjeksian dimungkinkan pada setiap titik, asalkan ada sedikit aliran massa air. Untuk pengambilan sampel, sangat penting penelusur dicampur secara sempurna dengan cairan, yaitu variasi konsentrasi di seluruh penampang saluran harus tidak melebihi dari 0,1 %. Untuk mencapainya, jarak pencampuran yang diperlukan harus diketahui; jarak ini adalah sebuah fungsi bilangan Reynolds, gesekan pipa dan jenis injeksi (injeksi dinding tunggal, injeksi sentral tunggal, injeksi ganda disekeliling dsb.) Jarak pencampuran berikut adalah nilai acuan untuk injeksi dinding tunggal pada sebuah pipa lurus dan suatu variasi konsentrasi sisa sebesar 0,1 % :

- | | |
|--|---------------|
| - untuk aliran air (cairan) fase tunggal | 150 D - 300 D |
| - untuk aliran air / uap fase ganda | 30 D - 80 D |

CATATAN D: diameter-dalam pipa.

Julat yang ditentukan adalah akibat bilangan Reynolds yang berbeda, dengan gesekan pipa yang pengaruhnya kecil dan berbeda. Tata letak pipa seperti belokan, katup, pompa, dsb, biasanya sangat mengurangi jarak pencampuran yang diperlukan.

Jika jarak pencampuran yang cukup tidak tersedia bahkan dengan memperhitungkan tata letak pipa, maka injeksi tunggal dapat diganti dengan injeksi ganda pada sekeliling konduit.

Cara lain untuk menjamin keberhasilan pengukuran penelusur adalah memilih kecepatan pengambilan sampel yang sesuai. Hal ini berarti bahwa :

- untuk mencapai ketelitian pengukuran yang baik (kesesuaian sementara dari sampel dan aliran massa yang diinjeksikan) kecepatan pengambilan sampel harus setinggi mungkin. Dengan saluran ekstraksi yang tersedia, hal ini berarti aliran massa ekstraksi terbesar yang mungkin;
- sampel harus diambil hanya dari cairan dan tidak mengandung uap (dalam hal aliran fase ganda). Hal ini menentukan batas atas untuk kecepatan pengambilan sampel.

Bergantung pada titik pengukuran, kecepatan pengambilan sampel harus diatur sampai nilai tertinggi yang diizinkan. Karena nilai-nilai ini tidak dapat dihitung terlebih dahulu, diperlukan pengukuran verifikasi untuk masing-masing titik dan sambungan pengukuran.

Namun demikian, pada titik pengambilan sampel tidak mungkin untuk mendeteksi apakah fraksi uap berubah menjadi air karena saluran sampel melalui pendingin di tempat uap terkondensasi. Jika sampel diambil dari aliran dua fase yang hanya mengandung cairan, konsentrasi akan tetap konstan berapapun kecepatan pengambilan sampel. Jika sampel mulai mengandung uap, konsentrasi berkurang karena uap yang diembunkan dan kurva menjadi terputus dikenal sebagai "titik putus" (*break point*). Titik putus harus ditentukan pada semua sampel yang diambil dari pipa aliran fase ganda.

K.4 Aplikasi penelusur

Untuk penentuan aliran uap/air, biasanya digunakan orifis atau nosel. Bergantung pada persyaratan ketidakpastian orifis atau nosel dapat dikalibrasi atau dengan desain standar. Namun gawai-gawai ini memerlukan perencanaan dan pemasangan dalam siklus yang baik sebelum pengujian. Untuk penerapan retrofit, persyaratan ini sering tidak dapat dipenuhi, yang membuat penerapan teknik penelusur menjadi sangat berguna.

Teknik penelusur khususnya sesuai untuk mengukur :

- aliran fase tunggal (saluran air) bila diperlukan waktu perencanaan singkat dan instalasi yang sederhana ;
- aliran air dalam saluran fase ganda.

Hal ini secara spesifik diterapkan dalam kasus berikut :

a) Pembangkit berbahan bakar fosil

- aliran kondensat utama
- aliran air pengisi
- aliran penguras
- aliran semprot
- aliran ekstraksi, dsb.

b) Pembangkit tenaga nuklir

- aliran kondensat utama
- aliran air pengisi
- aliran penguras
- aliran ekstraksi
- air yang terbawa dalam uap setelah separator embun
- air yang terbawa dalam uap setelah pembangkit uap (reaktor)
- titik akhir saluran ekspansi dari turbin HP, dsb.

Dalam saluran aliran fase tunggal yang memerlukan ketelitian tinggi, kombinasi orifis/ nosel dan pengukuran penelusur dapat direkomendasikan.

Lampiran L (informatif)

Metode variasi temperatur

L.1 Uraian masalah

Dalam rangka menentukan tara kalor turbin adalah perlu untuk mengukur secara teliti aliran primer dan sekunder sedemikian sehingga laju aliran panas ke siklus dapat ditentukan. Aliran ini biasanya diukur secara langsung.

Penentuan ini akan lebih sulit untuk turbin uap yang mempunyai kombinasi turbin HP/IP yang terpasang dalam satu rumah turbin karena aliran bocor internal antara turbin HP dan IP tidak dapat diukur secara langsung. Aliran ini mempunyai pengaruh yang signifikan pada aliran panas ulang yang panas dan daya poros HP dan IP. Penentuan yang tidak lengkap dari aliran ini mempunyai akibat yang merugikan terhadap ketelitian tara kalor, perhitungan efisiensi LP, dengan demikian harus diperhitungkan.

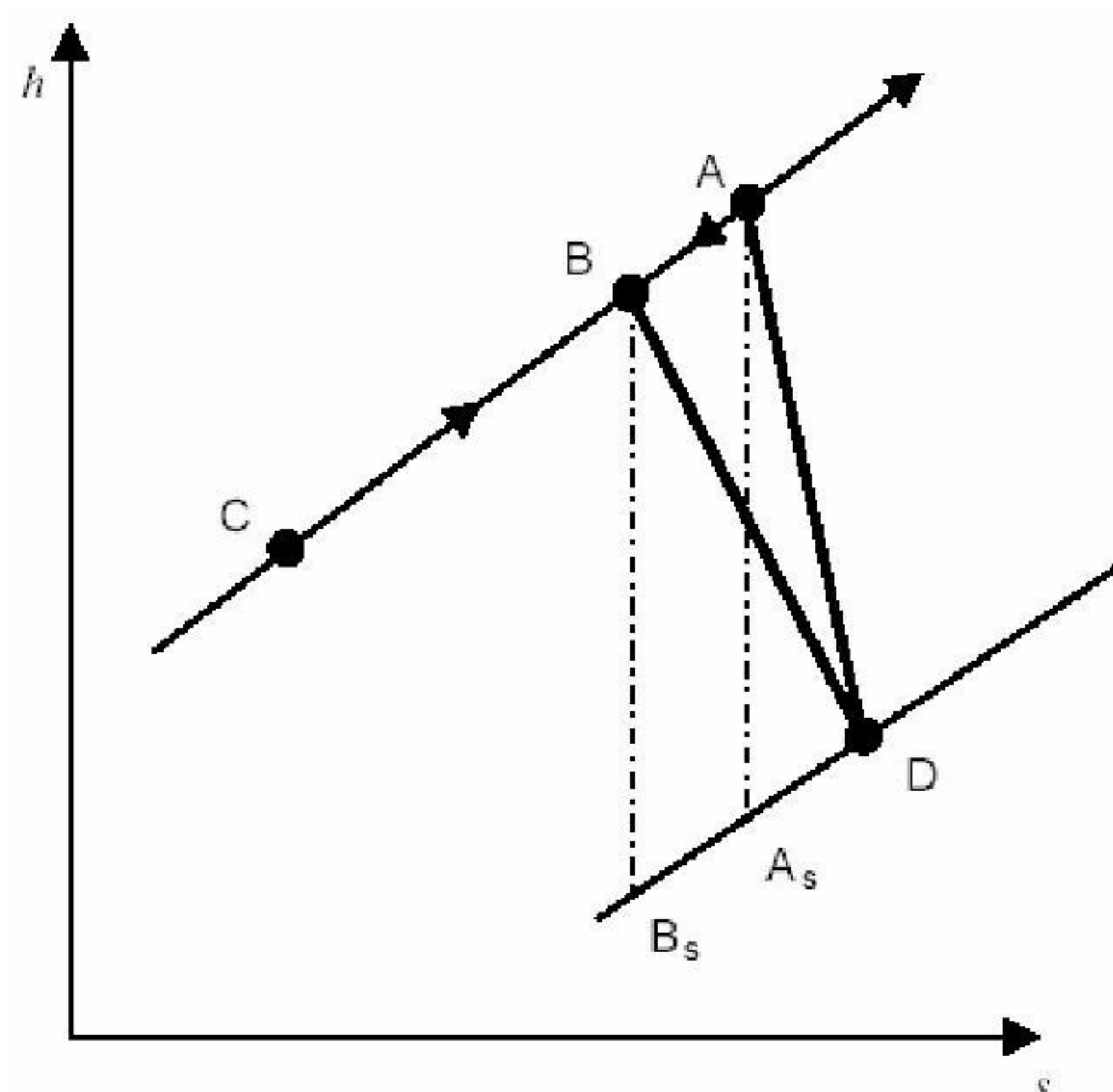
L.2 Kemungkinan untuk menentukan aliran bocor

Oleh karena aliran bocor antara aliran HP dan IP tidak dapat diukur secara langsung maka metode lain yang didasarkan pada pendekatan termodinamik perlu dipertimbangkan. Uji alternatif "Booth Kautzman" juga disebut "Metode variasi temperatur" mungkin dapat dijadikan solusi.

Diasumsikan kombinasi turbin HP/IP dalam satu rumah turbin. Perapat labirin dipasang antara sisi-masuk turbin HP dan turbin IP. Akibat aliran labirin, proses pencampuran terjadi pada mangkuk sisi-masuk IP. Ini adalah titik awal dari ekspansi IP yang bergantung pada laju aliran dan entalpi aliran labirin. Dengan asumsi bahwa efisiensi mangkuk sudu IP konstan, maka efisiensi silinder IP adalah fungsi dari temperatur uap kerja dan uap panas ulang. Untuk menggambarkan hal ini, temperatur uap kerja turbin yang lebih rendah akan membangkitkan aliran labirin pendingin dan menyebabkan temperatur buang IP menurun. Penurunan ini akan menghasilkan efisiensi silinder IP yang diukur menjadi lebih tinggi walaupun efisiensi mangkuk IP tetap konstan.

Sesuai namanya (metode variasi temperatur), konsep didasarkan pada variasi temperatur uap kerja dan uap panas ulang dan pengamatan terhadap perubahan pada temperatur buang turbin IP (*crossover*). Jika aliran labirin tidak ada, temperatur buang IP akan mengikuti temperatur panas ulang yang panas tanpa berakibat pada temperatur uap kerja. Jika sebaliknya aliran labirin signifikan ada temperatur buang IP akan mengikuti variasi pada temperatur uap kerja walaupun temperatur panas-ulang dipertahankan konstan. Ketergantungan temperatur buang IP pada temperatur uap kerja menunjukkan besarnya aliran labirin.

Efisiensi mangkuk turbin IP dihitung sesuai dengan gambar L.1 dan persamaan L.1 s.d L.4.



	Lokasi A	Lokasi B	Lokasi C	Lokasi D
Aliran massa	\dot{m}_A	$\dot{m}_A + \dot{m}_C = \dot{m}_B$	\dot{m}_C	$\dot{m}_A + \dot{m}_C$
Entalpi	h_A	h_B	h_C	h_D

Dengan

Lokasi A: kondisi uap panas ulang

Lokasi B: kondisi uap mangkuk turbin IP setelah pencampuran

Lokasi C: kondisi uap labirin

Lokasi D: kondisi uap sisi buang turbin IP

Parameter x : laju aliran labirin dalam % dari aliran sisi masuk silinder IP setelah pencampuran

Lokasi A_s: titik akhir ekspansi isentropik dari lokasi A

Lokasi B_s: titik akhir ekspansi isentropik dari lokasi B

Gambar L.1 – Garis ekspansi mangkuk turbin IP bergantung pada laju aliran labirin yang berbeda

Keseimbangan energi memberikan:

$$\dot{m}_A \times h_A + \dot{m}_C \times h_C = \dot{m}_B \times h_B \quad (\text{L-1})$$

$$\dot{m}_C = \frac{x}{100} \dot{m}_B \quad (\text{L-2})$$

Efisiensi isentropik turbin IP dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\eta_{IP}(x = 0\%) = (h_A - h_D) / (h_A - h_{AS}) \quad (\text{L-3})$$

$$\eta_{IP}(x \neq 0\%) = (h_B - h_D) / (h_B - h_{BS}) \quad (\text{L-4})$$

Bila laju aliran labirin nol, berlaku persamaan L.3 jika tidak sama dengan nol berlaku persamaan L.4.

Pengujian dan perhitungan dapat dilakukan dalam beberapa langkah :

- a) Langkah-1
menstabilkan turbin dalam kondisi nominal dan mengukur tekanan dan temperatur
- b) Langkah-2
Plot efisiensi mangkuk IP sebagai fungsi dari jumlah laju aliran labirin dengan menggunakan persamaan L.3 dan L.4. Jika laju aliran labirin lebih tinggi maka efisiensi mangkuk IP lebih rendah. Kemiringan adalah ukuran selisih entalphi dan aliran uap labirin.
- c) Langkah-3
ulangi langkah-1 dan langkah-2 pada temperatur uap kerja atau panas ulang 2,3 atau 4 kali lebih rendah (Δt mendekati 15K). Kurva-kurva yang diplot akan berpotongan pada laju aliran labirin aktual dan efisiensi mangkuk turbin IP aktual.

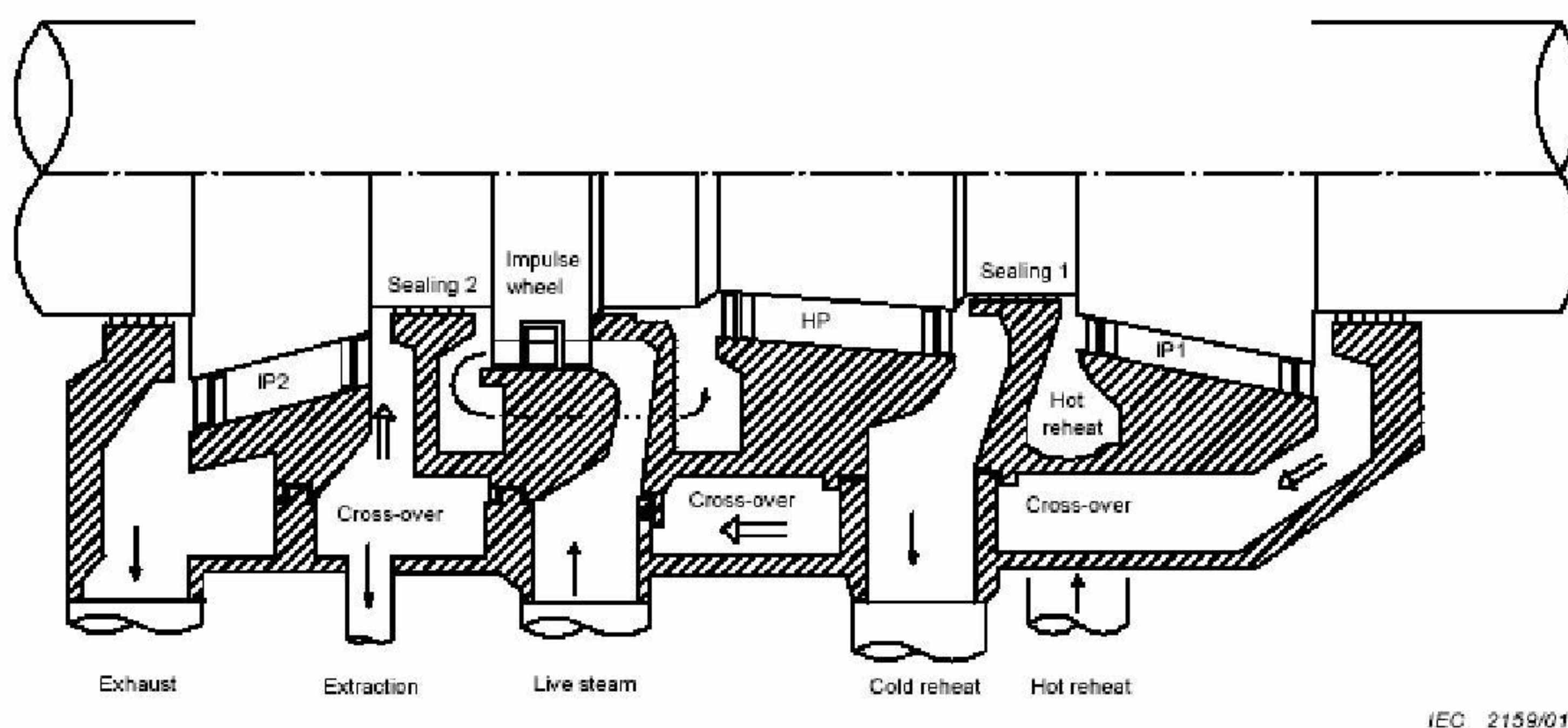
L.3 Contoh penggunaan

Perhatikan contoh praktis dari sebuah kombinasi lintasan uap HP/IP1/IP2. Dengan pemanas ulang tunggal yang terpasang dalam satu rumah turbin (lihat gambar L.2) lintasan uap HP ditempatkan pada bagian tengah dengan lintasan uap IP1 dan IP2 pada salah satu sisi. Turbin memiliki dua perapat labirin internal.

Temperatur dan tekanan diukur pada lokasi-lokasi berikut (penurunan entalphi dari roda impuls HP diperkirakan) :

- Uap kerja;
- Sisi masuk lintasan uap IP2 (berkaitan dengan temperatur panas ulang);
- Buangan lintasan uap IP2

Parameter yang diukur dan efisiensi isentropik mangkuk turbin IP2 yang sesuai diberikan pada Tabel L.1



IEC 2159/01

Perapat 1: antara buangan lintasan uap HP dan sisi masuk lintasan uap IP1 (tidak dipertimbangkan dalam contoh).

Perapat 2: antara ruang roda (setelah roda impuls) dan sisi masuk lintasan uap IP2 (digunakan dalam contoh).

Gambar L.2 – Diagram skematik dari turbin kombinasi HP/IP1/IP2

Temperatur dan tekanan diukur pada lokasi berikut (penurunan entalpi dari roda impuls turbin HP yang diperkirakan):

- Uap kerja;
- Jalur sisi masuk uap IP2 (berkaitan dengan temperatur panas ulang);
- Jalur sisi buang uap IP2

Parameter yang diukur dan hubungan dengan efisiensi isentropik mangkuk turbin IP2 diberikan pada Tabel L.1

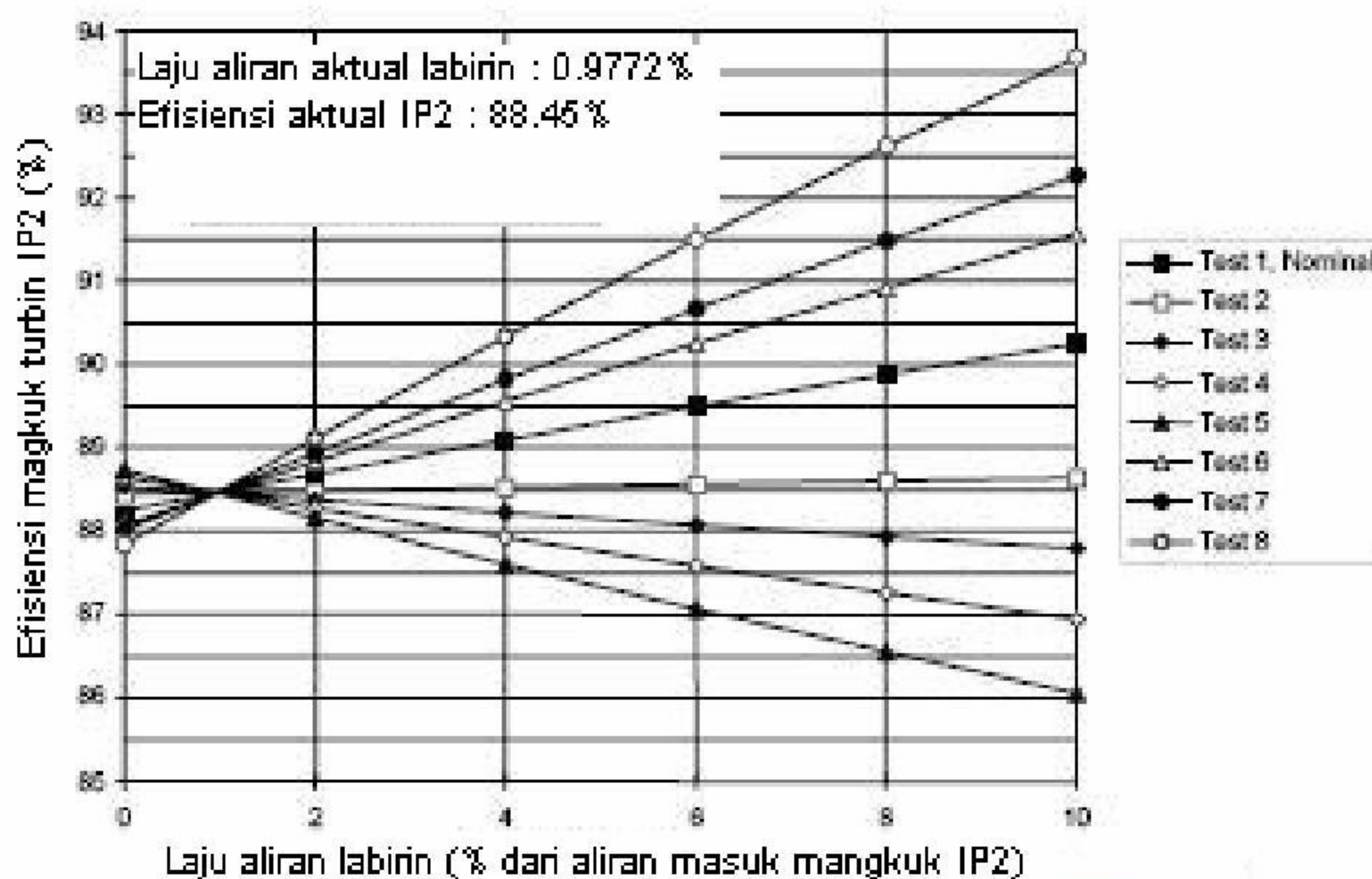


Tabel L.1 – Parameter termodinamika yang diukur dan efisiensi isentropik mangkuk turbin IP2 yang dihitung

		Unit	Variasi dari temperatur uap kerja					Variasi dari temperatur panas ulang		
			Uji 1 nominal	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Uji 6	Uji 7	Uji 8
Uap kerja	Temperatur	⁰ C	537,770	515,560	504,440	493,333	482,220	537,780	537,780	537,780
	Tekanan	bar	131,324	132,427	133,031	133,680	134,369	131,123	131,023	130,822
	Entalpi	kJ/kg	3435,99	3375,86	3345,05	3313,68	3281,58	3436,23	3436,34	3436,56
Penurunan entalpi tingkat pertama		kJ/kg	60,70	58,020	56,650	55,280	53,880	60,940	61,050	61,290
Entalpi, uap labirin		kJ/kg	3375,29	3317,84	3288,40	3258,40	3227,71	3375,29	3375,29	3375,27
Uap Masuk IP2,	Temperatur	⁰ C	428,830	427,970	427,530	427,090	426,640	409,130	399,310	379,710
	Tekanan	bar	18,124	18,424	18,583	18,749	18,922	17,859	17,725	17,457
	Entalpi	kJ/kg	3314,28	3311,99	3310,81	3309,62	3308,40	3271,92	3250,81	3208,68
	Aliran	Kg/dt	194,783	198,219	200,034	201,930	203,898	194,704	194,663	194,587
Uap buang IP2,	Temperatur	⁰ C	323,590	322,540	322,010	321,480	320,940	306,360	297,790	280,790
	Tekanan	bar	8,062	8,192	8,261	8,334	8,409	7,935	7,872	7,747
	Entalpi	kJ/kg	3106,81	3104,31	3103,04	3101,76	3100,46	3070,84	3052,92	3017,27
Efisiensi mangkuk IP2	x=0	%	88,248	88,442	88,536	88,641	88,733	88,079	88,014	87,841
	x=2	%	88,681	88,483	88,376	88,276	88,158	88,834	88,936	89,113
	x=4	%	89,097	88,524	88,223	87,925	87,603	89,558	89,820	90,331
	x=6	%	89,497	88,562	88,075	87,586	87,069	90,253	90,667	91,496
	x=8	%	89,881	88,599	87,933	87,260	86,553	90,919	91,481	92,613
	x=10	%	90,250	88,632	87,795	86,942	86,055	91,561	92,262	93,685

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

Seperti ditunjukkan pada Tabel L.1, temperatur masuk IP2 berubah dengan variasi panas dari temperatur panas ulang. Hasil dari kalkulasi dapat dilihat pada gambar L.3



Gambar L.3 – hasil dari uji variasi temperatur – Efisiensi mangkuk turbin IP2 sebagai fungsi dari rasio aliran labirin (Perapat 2) untuk variasi temperatur kerja dan pemanas ulang

Untuk contoh ini, semua kurva yang digambarkan, berpotongan pada daerah yang telah dirumuskan dengan baik. Dalam daerah tersebut laju aliran aktual dapat diperoleh:

- Laju aliran labirin (perapat 2) : 0,9772%
- Efisiensi mangkuk isentropik (IP2): 88,45%

Hal ini jelas bahwa perbedaan antara entalpi aliran masuk mangkuk dan entalpi aliran labirin sangat penting agar penggunaan metode ini dapat berhasil.

Jika perbedaan entalpi dekat dengan nol, maka praktis tidak akan ada perubahan (lihat uji 2 pada gambar L.3). Jika kurva mempunyai kemiringan positif, aliran labirin memanasi aliran mangkuk masukan, jika kurva mempunyai kemiringan yang negatif, aliran labirin akan mempunyai efek pendinginan.

Contoh ini memberikan sebuah impresi dari sebuah metode yang mudah dan sederhana untuk digunakan. Harus ditekankan bahwa pengukuran temperatur yang akurat dan kondisi operasional yang stabil dibutuhkan untuk mencapai hasil yang andal. Jika kondisi ini tidak dapat dipenuhi, bagian kurva tidak mempunyai persimpangan yang mudah digambarkan. Maka perhitungan dari aliran labirin akan menjadi tidak akurat.

Walaupun metode variasi temperatur sangat membantu dalam beberapa kasus, sangat direkomendasikan untuk meninggalkan komponen yang tidak retrofit untuk tidak disentuh antara pra dan paska uji retrofit. (lihat 2.5.2.1)







BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : bsn@bsn.or.id